This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

TKd
Su7.3
2

JP

DEPOSITED AT THE
HARVARD FOREST
1943

RETURNED TO J. P.
MARCH, 1967

ÉTUDE

SUR LES TORRENTS

DES HAUTES-ALPES

724 — Paris. — Imprimerie Cussey et Cᵉ, 26, rue Racine.

ÉTUDE
SUR LES TORRENTS
DES HAUTES-ALPES

PAR

ALEXANDRE SURELL

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

OUVRAGE COURONNÉ PAR L'ACADÉMIE DES SCIENCES, EN 1842

DEUXIÈME ÉDITION

AVEC UNE SUITE

PAR

ERNEST CÉZANNE

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

REPRÉSENTANT DES HAUTES-ALPES A L'ASSEMBLÉE NATIONALE

TOME SECOND

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

Quai des Augustins, 49

1872

Tous Droits réservés

PRÉFACE

DU SECOND VOLUME.

Il y a des *Torrents* dans tous les pays de montagnes; mais, dans les *Hautes-Alpes*, la nature géologique du sol et le climat ont exagéré le phénomène. Aux environs d'Embrun, on peut embrasser d'un seul regard plusieurs torrents qui présentent, opposés l'un à l'autre, avec une précision quasi géométrique, le *Bassin de réception* qui dévore la montagne et le *Cône de déjection* qui encombre la vallée. Chaque jour, des terrains cultivés sont entraînés ou recouverts; le pays s'appauvrit; la population diminue et l'étranger qui passe reste convaincu que, si l'on ne se hâte, ce triste pays témoignera par ses ruines que la France l'a oublié.

L'abus des forêts et des pâturages est la principale cause de ces maux. C'est pourquoi le cri de détresse des Hautes-Alpes s'est perdu si longtemps dans la longue et confuse

plainte que soulève, dans toute la France, la disparition des forêts.

Depuis les capitulaires de Charlemagne, les édits de nos rois sont les échos de ces doléances : la célèbre ordonnance de 1669 est précédée d'une action de grâces au Ciel, *dont la faveur, récompensant les premiers efforts du roi, a fait refleurir cette partie précieuse de son domaine.*

Les plus grands esprits de tous les temps ont pris intérêt aux forêts.

Bernard Palissy, dans son livre dédié *au Peuple français*, déteste le déboisement : « *C'est,* dit-il, *non une faute, mais une ma-* « *lédiction et un malheur à toute la France,* « *parce qu'après que tous les bois seront* « *coupés, il faut que les arts cessent et que les* « *artisans s'en aillent paistre l'herbe comme* « *fit Nabuchodonosor* (1). »

Sully, dans ses *Economies royales,* recommande les forêts à son maître, le sage Henri IV (2). On a retenu de Colbert ce mot

(1) Bernard Palissy, *l'Art de devenir riche.* (Voyez *Annales forestières*, 1862.)

(2) Collection Michaud. — 2e série, III, p. 440.

par lequel il exagérait sans doute sa pensée pour faire une impression plus profonde : « *La France périra faute de bois* (1). »

Réaumur, Buffon, Turgot, ont élevé leur voix en faveur des forêts. Les célèbres cahiers de 1789 font du déboisement un grief contre la monarchie, et, depuis la Révolution, d'innombrables documents administratifs ont accueilli ces plaintes populaires. La question des forêts se présente ainsi comme un problème général ou, pour mieux dire, national et, sans doute, cette généralité du problème est précisément ce qui en a retardé la solution.

Il n'est pas vrai que le déboisement soit toujours un mal, car la civilisation n'a pu naître et s'étendre qu'aux dépens des forêts. Qui voudrait conseiller aux Américains de refouler en Europe ces émigrants qui s'en viennent défricher les steppes boisées où, naguère encore, erraient les Peaux-Rouges ? Et, dans notre France où la propriété est si mobile, quel agriculteur se contenterait d'une

(1) Certains auteurs attribuent ce mot à Sully. (De Kirwan, *Correspondant*, 25 juillet 1869.)

coupe de bois tous les vingt ans quand sa terre peut lui donner une moisson tous les étés? — Faut-il réduire notre race, afin de restituer aux forêts quelques lambeaux de la patrie?

Dans nos Alpes mêmes, le reboisement général serait la ruine du pays.

C'est pour avoir combattu le déboisement partout qu'on ne l'a arrêté nulle part : le profit que le déboisement procure aux uns a masqué la souffrance qu'il occasionne à d'autres, et la loi est restée sans force parce qu'elle était sans mesure.

Le grand service rendu par l'*Etude sur les torrents des Hautes-Alpes*, c'est d'avoir, dans la question générale des forêts, dégagé un problème particulier, local, relatif à leur action sur les eaux de montagne et qui, étant nettement circonscrit, est devenu accessible à la méthode scientifique. Après une analyse rigoureuse du phénomène des torrents, M. Surell montre d'abord la cause, puis le remède, et sa démonstration a tout l'attrait de l'évidence.

Ecrite en 1838, imprimée en 1841 par ordre du ministre des travaux publics, honorée par

l'Académie du prix Montyon, l'*Etude sur les torrents* est promptement devenue classique en France et à l'étranger.

Mais ce n'était pas encore le temps des applications pratiques ; les chemins de fer, à leur aurore, absorbaient déjà les forces vives du budget, ainsi que l'attention publique, et l'auteur lui-même, entraîné par le courant, s'est vu détourné de ses premières recherches. Cependant les inondations de 1846, celles surtout de 1856, ont rappelé vivement à tous les esprits le rôle préservateur des forêts. Plus grande est la prospérité, plus profonde semble la sécurité, plus cruel, plus inacceptable apparaît le désastre.

Une immense plainte s'éleva, suivie d'une controverse ardente. Le chef du gouvernement prit part au débat; sa lettre au ministre des travaux publics (19 juillet 1856), répandue par toute la France, fut comme le résumé de l'émotion populaire. Ce grand mouvement de l'opinion n'est pas resté stérile, et les lois de 1860 et 1864, qui en furent la conséquence, peuvent être considérées comme une application directe des idées émises, voici trente ans

bientôt passés, dans l'*Etude sur les torrents des Hautes-Alpes.*

Disons-le tout de suite, ces lois ont fait justice des exagérations ; il ne s'agit plus aujourd'hui, comme l'ont réclamé de nos jours quelques auteurs, de reboiser par mesure générale ni de reconstituer l'ancien domaine forestier de la France. — Le seul objet pratique et utile, le seul dont s'occupe la loi, c'est en réalité de maîtriser les eaux torrentielles et, par suite, de protéger à la fois la montagne qu'elles attaquent et la plaine qu'elles inondent.

Dans les montagnes mêmes, le *boisement* est presque partout remplacé avec de grands avantages par le *gazonnement.* Les montagnes, et en particulier les Hautes-Alpes, sont essentiellement pastorales ; les troupeaux sont la seule ressource, ils sont la vie même du pays ; aussi, doit-on chercher non pas à réduire, mais à étendre les pâturages. C'est ainsi que M. Surell a, dès l'origine, posé le problème.

Le boisement n'offre que des profits trop éloignés, il ne peut être imposé aux géné-

rations actuelles que dans les endroits où il est indispensable pour retenir le sol et pour permettre le développement ultérieur du gazon.

L'expérience a d'ailleurs démontré que la *Régénération des montagnes* est une œuvre d'intérêt public que l'Etat seul peut et doit accomplir.

Puisse la France, dès qu'elle aura pansé les blessures de la guerre, se rappeler qu'elle a, dans les Hautes-Alpes, une plaie toujours saignante, et qu'il lui suffit de le vouloir pour guérir cette lèpre des torrents que les étrangers nous reprochent comme une honte! (*Voyez ci-après chap. VII.*)

Que d'efforts douloureux, que de sacrifices la France n'a-t-elle pas faits pour disputer à l'ennemi ces deux provinces si patriotiques de l'Alsace et de la Lorraine! Eh bien, il y a, vers les Alpes, une province dont un ennemi acharné, infatigable, enlève chaque jour un lambeau, dont il décourage et chasse peu à peu les habitants.

Cette terre est pauvre sans doute; ces revers déchirés, ces vallées envahies ne peuvent rivaliser avec les riches campagnes du Rhin

et de la Moselle; mais l'attention bienveillante de la mère-patrie ne se portera-t-elle que sur les parties privilégiées de son territoire?

D'ailleurs, qu'on ne l'oublie pas, les *Hautes-Alpes* représentent un intérêt national de premier ordre : elles gardent, par leurs forteresses, une des parties les plus importantes de la frontière. — La vallée de la *Durance* a fourni, de tout temps, le passage le plus commode de France en Italie. Le col du *Mont-Genèvre*, auquel elle aboutit, outre qu'il s'élève moins que ceux du *Mont-Cenis*, du *Grand* ou du *Petit Saint-Bernard*, du *Simplon* ou du *Saint-Gothard*, offre encore, abrité comme il est contre le vent du nord, des facilités exceptionnelles dans la mauvaise saison.

Il faut remarquer aussi que le passage du *Mont-Genèvre* n'est pas, comme les autres, un col désert et inhospitalier; c'est, à proprement parler, un plateau cultivé, habité, et sur lequel sont assis deux villages, chefs-lieux de deux communes.

Par la vallée de la *Durance* sont passés Annibal, César, Charlemagne, Charles VIII,

Louis XII, François Ier, Louis XIII. — Victor Amédée, duc de Savoie, l'a envahie et dévastée en 1692. — Lesdiguières, Catinat, Berwick, Villars ont fait campagne dans les Hautes-Alpes. Il n'est pas une gorge de ce département, pas un passage qui ne soit illustré par une action de guerre. — Les vaudois et les protestants y ont trouvé jadis d'inviolables refuges (1).

Les anciens dauphins, particulièrement Humbert II et Louis II (*depuis, Louis XI*), se sont intéressés tout spécialement à cette région ; ils ont creusé des canaux d'irrigation, élevé des digues, créé des fondations utiles. Leur souvenir vit encore dans ces montagnes.

Par ordre de Louis XIV, Vauban, après avoir perfectionné les fortifications de *Briançon* et d'*Embrun*, dont les Romains avaient

(1) Les vallées qui pénètrent dans le massif du *Pelvoux* ou celui du *Viso* et dont les paysages et les glaciers peuvent rivaliser avec les plus pittoresques de la Suisse, abritent encore quelques restes de ces réfugiés d'origines diverses connus sous le nom général d'*Israël des Alpes*. — (Voyez dans la *Revue des deux Mondes* (1867-68) les articles de M. Hudry-Ménos sur l'*Israël des Alpes*).

posé les fondements, a construit de toutes pièces la place de *Mont-Dauphin.*

Jusqu'à la Révolution, les Hautes-Alpes, partie intégrante du Dauphiné, participaient aux ressources d'une riche province; elles dépendaient d'un centre peu éloigné où leurs besoins étaient connus, où leurs efforts excitaient de l'intérêt.

Depuis le partage de la France en départements, il n'en est plus de même. Cependant, Napoléon, averti par le meilleur préfet qu'aient eu les Hautes-Alpes (1), traça, par la *Durance* et le *Mont-Genèvre*, la grande route militaire d'Espagne en Italie et fit passer à Gap la route de Paris à Nice. Il dota le département de plusieurs institutions vivifiantes, supprimées depuis.

Aussi, lors de nos revers en 1815 et malgré les ordres de l'autorité française, les habitants de *Briançon*, de *Mont-Dauphin* et du *Fort-Queyras* refusèrent-ils d'ouvrir leurs portes à l'armée austro-sarde. Par leur patriotique

(1) M. Ladoucette, dont la statue a été élevée sur une des places de Gap.

attitude fut conservé à la France un immense matériel de guerre que nos armées avaient ramené d'Italie.

Depuis cette époque, l'histoire des Hautes-Alpes n'offre plus que le tableau d'une décadence continue. Par suite d'une centralisation excessive, les affaires de ce département, transportées à Paris comme celles de la France entière, ont été oubliées dans les cartons, tandis que l'intérêt de l'administration se portait vers des régions plus accessibles ou plus bruyantes.

La vie s'est retirée de cette extrémité de la France pour se porter vers les grands centres.

Le second empire a précipité ce mouvement, et de savants économistes ont pu dire qu'on semblait s'être donné pour tâche d'enrichir les parties les plus riches du territoire et d'appauvrir les plus pauvres (1).

---

(1) Dans les dernières années de l'empire, Paris seul absorbait plus de la moitié du budget de la France, tandis que douze départements, et, parmi eux, les Hautes-Alpes, formant le dixième de la superficie de la France, recevaient à peine, entre tous, un quarantième du budget. (L. de Lavergne.)

M. Léonce de Lavergne, dans son *Économie rurale* (1), s'exprime ainsi : « Les deux départements des Hautes et Basses-Alpes présentent un triste contraste avec le reste de la région..... *Ils ont reculé au lieu d'avancer.....* C'est la partie la moins riche du territoire : elle ne contient que 22 habitants par 100 hectares, tandis que la Corse elle-même en a 27..... Depuis plus d'un siècle tous ceux qui connaissent les Alpes françaises annoncent la destruction de toute terre végétale par les ravages périodiques des torrents. »

La population des Hautes-Alpes s'est accrue de 14,000 habitants de 1806 à 1846; elle a diminué de 11,000 habitants de 1846 à 1866; nous avons perdu en vingt ans ce que nous avions gagné en quarante ans (2).

La richesse publique a subi la même alternative. Si on la mesure par le produit du

---

(1) Troisième édition, page 278.

(2) Voici, pour la population, les chiffres officiels :

ANNÉES.	FRANCE ENTIÈRE.	HAUTES-ALPES.
1806	29.107.425	118.100
1846	35.400.486	133.100
1866	37.222.745 (*)	122.117

(*) Moins Nice et la Savoie.

Timbre, elle s'est accrue, de 1834 à 1847, pour la France entière, de 44 pour 100; pour les Hautes-Alpes de 30 pour 100. De 1847 à 1868, elle s'est accrue, pour la France entière, de 103 pour 100; pour les Hautes-Alpes, de 12 pour 100 seulement (1).

Ainsi, soit par la population, soit par la richesse, les Hautes-Alpes n'ont suivi qu'à distance le progrès général de la France jusque vers 1847; mais depuis cette époque elles *reculent au lieu d'avancer.*

Cette décadence s'explique facilement: nos vallées, fertiles et riantes, sont étroites; la plupart de nos villages s'élèvent, au penchant des montagnes, jusqu'à ces régions sévères où la sueur de l'homme ne suffit plus à féconder la terre. Quelle vie rude que celle de nos paysans! Dans leur situation extrême, sur les limites de la terre habitable, le moindre accident naturel, gelée, sécheresse ou pluie, leur est un désastre, et le torrent

(1) Voici, pour le produit du *Timbre*, les chiffres officiels:

ANNÉES.	FRANCE ENTIÈRE.	HAUTES-ALPES.
1834	28.883.837	73.776
1847	41 692.333	95.635
1868	84.986.260	108.430

gronde là, dans le voisinage, toujours menaçant. Ils travaillent et souffrent sans se plaindre ; ils n'accusent ni le ciel ni le gouvernement ; mais, quand la misère est trop pressante, ils partent ! — Ils cèdent à l'attrait tous les jours plus vif qui les appelle dans ces cités opulentes : Marseille, Lyon, Paris !

Ainsi, chaque progrès de la plaine fait un vide dans la montagne.

Ah ! si ce pays était au centre de notre territoire, ceux qui ne lui sont pas attachés comme nous pourraient dire froidement : *laissons tomber ces montagnes en ruines puisqu'elles ne peuvent se soutenir elles-mêmes.* Mais, les Hautes-Alpes sont un des remparts de la France.

Que servirait cependant, au jour du danger, d'avoir des forteresses sur la frontière, si, derrière ces places fortes, il n'y a qu'un désert, n'offrant à l'armée française ni bois, ni cultures, ni chemins de fer, ni population ?

Ainsi l'œuvre de la *Régénération des montagnes,* confiée par les lois de 1860 et 1864 à l'Administration des forêts, est véritable-

ment nationale et patriotique. Au sortir de la crise actuelle, le gouvernement aura pour devoir impérieux de reprendre l'œuvre ébauchée et de lui donner une nouvelle et vigoureuse impulsion.

Le premier volume de cette seconde édition reproduit, avec quelques coupures faites par l'auteur lui-même, l'édition originale de l'*Étude sur les torrents des Hautes-Alpes*.

Dans ce second volume, j'ai essayé de résumer les résultats qui, depuis la publication de l'*Etude sur les torrents*, ont été acquis par la science sur le rôle météréologique et hydrologique des forêts. Les antécédents et les premières applications des lois de 1860 et 1864 y sont rapidement exposés ainsi que divers systèmes techniques essayés contre les torrents, en France et à l'étranger.

Le dernier chapitre contient quelques vues générales sur l'origine des torrents actuels et sur les grands phénomènes diluviens dont on retrouve les traces dans chacune de nos vallées de montagnes.

Deux extraits de la *Carte géologique de France*, exécutés par l'imprimerie nationale

avec la bienveillante autorisation de M. Élie de Beaumont, serviront à l'intelligence de ce chapitre.

L'impression de ce second volume ayant été suspendue pendant une année entière par les événements, un court *Appendice* a recueilli des documents qui avaient paru dans l'intervalle.

Quelques développements particuliers ou textes de loi sont relégués dans les *Notes*.

Si, malgré mon incompétence, j'ai entrepris ce travail, me bornant d'ailleurs au rôle de rapporteur, et, sur ce terrain nouveau pour moi, donnant un guide à chacun de mes pas, c'est qu'il m'offrait un double intérêt : il sera, je l'espère, de quelque utilité pour mes montagnes natales; il me permet aujourd'hui de me présenter au lecteur à l'ombre d'un maître qui est en même temps un ami.

E. CÉZANNE,
Ingénieur des ponts et chaussées,
Représentant des *Hautes-Alpes* à l'Assemblée nationale.

Versailles, janvier 1872.

SUITE DE L'ÉTUDE

SUR LES TORRENTS

DES HAUTES-ALPES

CHAPITRE PREMIER.

COUP D'ŒIL SUR L'HISTOIRE DU DÉBOISEMENT (1).

Il faut se figurer, au temps de César, la Gaule couverte de sombres forêts qu'entrecoupaient çà et là des clairières cultivées : telles sont encore certaines parties de la Russie et de l'Amérique. Cependant, dès cette époque, les côtes de la Provence et du Roussillon étaient déboi-

---

(1) La matière de ce chapitre est empruntée presque exclusivement au savant ouvrage de M. *Alf. Maury*, membre de l'Institut : *Les Forêts de la Gaule et de l'ancienne France* (Paris, Ladrange, 1867). — Voyez aussi *Becquerel : Mémoire sur les forêts* (Comptes rendus de l'Académie, t. XXXV). — Le Dr *Fuster : Des Changements dans le climat de la France* (Paris, Capelle, 1845). *Annales forestières* (*passim*) ; *Revue des eaux et forêts* ; *Correspondant* (n° du 25 juillet 1869). — *J. Clavé : Études sur l'économie forestière* (Paris, 1862).

sées et nues, comme la Grèce dont Platon, quatre cents ans avant Jésus-Christ, regrettait déjà les antiques ombrages. — Entre les territoires de deux tribus gauloises, la forêt s'étendait comme une frontière naturelle qu'entamaient lentement, de chaque côté, les progrès de la culture, de la charpente, des forges et de la marine ; mais la végétation, toute-puissante encore, régnait sur les montagnes, maîtrisant les eaux torrentielles et réparant énergiquement les pertes, assez rares d'ailleurs, que lui causaient la tempête ou l'incendie.

Des campagnes de César date la guerre aux forêts, guerre de vingt siècles qui a failli se terminer, sous nos yeux, par une extermination complète. Les *Commentaires* nous montrent les forêts incendiées, tantôt par les Gaulois pour arrêter la poursuite de César, tantôt par les Romains pour forcer la retraite de Vercingétorix. La colonisation suivit la conquête, et le défrichement (*vastinium*) élargit les traces de la guerre ; mais, alors, le déboisement était, si l'on peut dire, *légitime :* il augmentait le domaine de la civilisation aux dépens des forêts encore prépondérantes.

Les barbares Germains qui envahirent l'empire, habitués à vivre dans les forêts, adorateurs de divinités sylvaines, furent *sympathiques* aux forêts de la Gaule. La loi salique, la loi ripuaire, la loi des Lombards, protégeaient les forêts sous peine d'amende ; il en coûtait presque aussi cher de couper un arbre que de tuer un homme. Si les forêts de la Gaule furent diminuées par les guerres des Romains, par contre, les grandes dévas-

tations des IVe et Ve siècles leur rendirent de larges espaces perdus pour la culture. De même, plus tard, après le passage des Normands et des Sarrasins, d'épaisses forêts couvrirent des cantons qu'avaient autrefois défrichés de riches colonies. On retrouve encore parmi les pins, dans quelques bois de la Provence, les souches d'oliviers plantés par les antiques Phocéens.

Avec les Carlovingiens, s'ouvre une ère nouvelle. Passionnés chasseurs, ils protégent les forêts pour conserver le gibier, surtout les grosses espèces, telles que l'élan, l'auroch, déjà rares dès lors, aujourd'hui réduites à quelques individus, dernier héritage de Charlemagne, qu'entretient à grands frais l'empereur de Russie. Pour assurer leur plaisir favori, les princes de la seconde race s'emparent des forêts, et chaque seigneur les imite avec zèle dans la mesure de ses forces. La propriété forestière subit alors une transformation qu'il est intéressant de remarquer, car ses effets, très-violents à cette époque, se font encore sentir aujourd'hui. En réalité, c'est de cette prise de possession que datent la plupart des propriétés particulières, ainsi que le domaine public.

Plus anciennement, chez les Gaulois, par exemple, les forêts étaient indivises; non pas *communales* dans notre sens moderne, mais *communes* et publiques, chacun s'y pourvoyant à son gré. Les Romains, peuple de soldats et d'administrateurs, familiers avec l'idée abstraite de la *chose publique*, avaient laissé les forêts indivises; mais ils en avaient réglementé l'usage comme celui des eaux : ils avaient une administration des *forêts*

et chaussées (*provincia ad calles et sylvas*), des agents spéciaux (*saltuarii*). Au contraire, les conquérants barbares se partagent le sol dont ils deviennent propriétaires ou seigneurs et s'attribuent les forêts. Dans les premiers temps, les traditions d'indivision et de communisme persistent : les anciens colons, devenus serfs, conservent d'abord le droit d'usage dans leurs forêts, maintenant royales ou seigneuriales. Mais, sous les Carlovingiens, la féodalité s'organise ; la propriété forestière devient plus absolue, surtout dans les provinces du Nord. Dans cette partie de la France, pays du droit coutumier, prévaut à la longue la maxime : *Nulle terre sans seigneur*, c'est-à-dire : toute terre commune ou indivise, et ainsi la forêt, appartient au seigneur. En vertu de ce principe, le seigneur défend la forêt avec un soin jaloux, et même il l'étend, aux dépens des cultures, sous prétexte de droit de chasse ou de garenne (1). peu à peu la possession d'une forêt devient à la fois le signe visible de seigneurie ou de noblesse et la condition d'admissibilité à certains honneurs ; il n'est si petit baron qui n'entretienne un bois sur son héritage ; au besoin, il usurpe le champ du voisin. Les parchemins du moyen âge sont remplis de contestations où l'on voit un descendant des Gallo-Romains revendiquer sa vigne ou son pré, incorporé par violence à la forêt du seigneur franc.

Dans le midi de la France persiste la loi des Romains,

---

(1) Dans le latin de cette époque *foresta* signifiait *propriété réservée, chasse gardée* ; ce que nous appelons aujourd'hui *forêt* se disait alors *sylva* (*De Kirwan: Correspondant* du 25 juillet 1869).

mais non leur police : la forêt qui était publique devient communale, et le déboisement, qu'aucune administration ne contrôle, marche plus rapidement que dans le Nord.

Parmi les plus actifs défricheurs du moyen âge, il faut compter les moines (1). Un ermite se retire dans la solitude des bois; quelques disciples le rejoignent; le lieu devient sacré; une communauté se fonde et, défrichant autour d'elle, ronge peu à peu la forêt qu'elle remplace par des champs cultivés (2). Avec le temps, la communauté, devenue riche, perd son énergie civilisatrice : elle ne défriche plus pour fertiliser, elle dévaste pour jouir. Le clergé séculier favorisait lui-même les défrichements pour récolter la dîme à laquelle il prétendait sur les produits de la terre.

Un très-grand nombre de ces attaques contre la forêt étaient, à l'origine, légitimées par un titre régulier, une charte octroyée par le seigneur ou le roi, dans un accès de libéralité. Ces chartes ne conféraient, il est vrai, qu'un droit d'usage; mais, dans ces temps de désordre, nulle police ne limitait l'abus, et bientôt, la consommation des bois d'œuvre et de feu croissant avec les progrès de l'industrie et du confortable, le désordre devint général. En vain, chaque seigneur et le roi lui-même établissent des règlements et préposent des agents *fores-*

(1) *De Montalembert : Les Moines d'occident* (Lecoffre, Paris, 1868).

(2) *Réaumur :* Mémoire à l'académie des sciences (1721) cité par les *Annales forestières* (1860).

tiers, rien n'arrêtera plus la marche accélérée et vraiment effrayante du déboisement, et les hommes, bien rares alors, que préoccupe le bien public, commencent ce concert de lamentations dont nous entendons, encore aujourd'hui, les échos obstinés.

La première ordonnance sur les forêts est de Philippe-Auguste (1219). Déjà, plus anciennement, de hauts personnages prenaient, auprès du roi, le titre de maîtres des eaux et forêts; mais leurs attributions ne furent définies qu'au XIIIe siècle, par une ordonnance de Philippe le Bel (1291). Il paraît d'ailleurs, par les considérants mêmes des ordonnances, que les agents forestiers furent les plus cruels ennemis des forêts : ils encourageaient les abus pour en tirer profit. Saint Louis défend aux forestiers de recevoir aucun cadeau (1). Charles V, dit le Sage, et qui mérite ce nom, car on trouve sa trace chaque fois qu'on recherche les origines de l'administration française, Charles V, qui, le premier, songea à créer une marine, réglementa l'aménagement des forêts en vue des constructions navales : il fit un *Règlement général des eaux et forêts* (1376) (2).

Au XVe siècle, nous trouvons la noblesse abaissée et, à la place du seigneur, le roi plus éclairé, plus paternel,

---

(1) Voyez, dans la vie de saint Louis par Joinville, comment le saint roi lui-même accepta un cadeau, en fut repris par son sénéchal et reconnut son tort. (*Histoire de saint Louis*, Paris, 1867, p. 439.)

(2) *De Kirwan : Correspondant*, 25 juillet 1869.

mais plus éloigné de son peuple. Les communes affranchies et fortement organisées développent partout la culture et l'industrie aux dépens des forêts ; les *usages* se multiplient ; mais, bientôt, la rareté du bois fait monter le prix du combustible et des pièces de charpente : une clameur s'élève contre les abus. François Ier et ses successeurs multiplient les édits (1515, 1588) ; ils étendent aux forêts privées la juridiction des maîtres royaux des forêts (1543) ; ils interdisent les défrichements aux évêques (1537) ; réglementent l'établissement des forges et usines destructrices des forêts (1543) ; établissent des juridictions et des fonctionnaires. Mais les vices de l'administration, les discordes religieuses, la guerre civile ou étrangère, frappent de stérilité ces efforts dont l'histoire cependant a fait honneur à François Ier.

Avec Henri IV et Sully, Louis XIV et Colbert, le XVIIe siècle fut une ère de réparation. Deux ordonnances capitales dominent la législation : l'Édit de 1597, portant *Règlement général des eaux et forêts*, et la célèbre ordonnance de 1669, véritable code forestier auquel les propriétés particulières furent soumises comme celles de l'État. Il est remarquable qu'une réforme, qui paraît aujourd'hui si utile, fut combattue par les parlements : il fallut un lit de justice pour faire enregistrer l'ordonnance. Mais Colbert ne se bornait pas à faire des lois, il en poursuivait obstinément l'application. Sa correspondance le montre constamment occupé des forêts ; persuadé que l'État seul peut entretenir les hautes futaies nécessaires à la marine, il augmenta par des achats le domaine forestier de la Couronne.

Après Colbert, la prodigalité et le désordre compromirent son œuvre. Un dernier effort, tenté par Turgot, honore la mémoire du grand ministre, mais n'a produit aucun fruit. Depuis les premiers jours de la Révolution, chaque crise, qui affaiblit momentanément l'autorité des lois, est marquée par de larges traces dans nos forêts. Les mêmes désordres se sont reproduits après 1789, en 1830 puis en 1848. A chacune de ces époques, les paysans, momentanément délivrés de toute contrainte, se sont rués sur la forêt voisine, et, dans certains cas, le législateur lui-même semble avoir voulu s'associer à cette œuvre de destruction. Le décret de septembre 1791 confirma les dispositions de Colbert, en ce qui concerne le domaine de l'État; mais il émancipa la propriété privée : chacun fut libre de défricher ses bois. En outre, la proclamation de Louis XVI (novembre 1791) plaça les forêts sous la protection des municipalités : c'était les livrer à leurs plus dangereux ennemis. Les conséquences de cette double mesure furent si promptes et si fâcheuses que, dès 1802, il fallut replacer les bois sous un régime d'exception (*loi du 9 floréal an XI*).

Aux déprédations particulières sont venues s'ajouter les aliénations publiques. Pressée de solder le déficit de l'Empire, la Restauration mit en vente 164,000 hectares de forêts (*lois du 23 septembre 1814 et du 27 mars 1817*). Après 1830, nouvelle aliénation de 117,000 hectares (*loi du 25 mars 1831*).

Mais enfin les inondations de 1840 et 1846 avaient remis la question des forêts à l'ordre du jour; des me-

sures réparatrices, réclamées de toutes parts, étaient à l'étude (1), et le gouvernement venait de présenter une loi générale pour régler les défrichements et réformer le code forestier, lorsque éclata la révolution de février 1848. Son effet sur les forêts ne se fit pas attendre ; treize jours après son installation, le gouvernement provisoire autorisa, par décret du 9 mars, la vente d'une partie considérable des forêts de la couronne et toutes celles de la liste civile.

Le 30 juin 1848, l'État cédait à la banque de France 75,000 hectares de forêts, à titre de garantie pour un emprunt de 150 millions.

Le 4 décembre 1848, l'assemblée nationale discute le budget des forêts ; en vain, le ministre et le directeur général défendent leur administration, en vain retentit à la tribune le mot sinistre de Colbert : « *La France périra faute de bois* », les économies sont prononcées, et les services forestiers se voient menacés de désorganisation (2).

Hâtons-nous de le dire, ce ne fut là qu'un orage passager. L'administration forestière, promptement reconstituée, prit part, après 1852, au grand mouvement imprimé par l'empire aux travaux publics. Si les décrets des 17 et 27 mars 1852, les lois du 12 avril 1853, du 5 mai 1855, du 28 juillet 1860 et du 8 juin 1864, ont autorisé des aliénations ou des coupes extraordinaires

(1) Ce projet de loi, présenté pour la première fois en 1845, avait été étudié, par M. Legrand, dès 1843.

(1) *Annales forestières*, décembre 1848, janvier 1849.

dans les forêts de l'État, il ne s'agissait du moins que d'opérations peu importantes, et dont le produit devait être appliqué à des travaux reproducteurs. Une tentative plus sérieuse fut faite en 1865 : le gouvernement proposa l'aliénation de forêts domaniales, jusqu'à concurrence de cent millions de francs, applicables à des entreprises de travaux publics. Cette fois, l'opinion publique s'alarma : les publicistes de toutes les nuances, politiques, savants, littérateurs, etc., réunissant leurs efforts, se levèrent en croisade contre le projet de loi qui dut être retiré.

Cette tentative avortée contre les forêts sera-t-elle la dernière ? Il n'est guère permis de l'espérer. Tant que le domaine forestier dépendra d'un ministre dont la charge, semblable au travail des Danaïdes, consiste à remplir les caisses sans fond de l'État, il est à craindre que les forêts ne soient encore appelées à fournir quelque contribution extraordinaire ; mais on peut espérer que les aliénations à venir seront largement compensées par les plantations entreprises, et dont le compte rendu fait l'objet spécial des chapitres VI et VII ci-après. On continuera, sans doute, à déboiser la plaine, mais on reboisera la montagne ; le domaine forestier de la France sera déplacé, et sa distribution nouvelle, plus conforme aux lois naturelles, sera respectée par les générations futures, instruites désormais par les leçons du passé.

Il faudrait clore ce rapide aperçu par quelques chiffres mesurant, de siècle en siècle, les progrès du déboisement ; mais la statistique est une science toute jeune ; et,

en particulier, la statistique forestière offre des difficultés toutes spéciales. Il y a bois et bois : après qu'on a défriché une forêt séculaire, si l'on acquiert une égale surface de semis naissants, la statistique balance l'une par l'autre ces deux opérations, qui se traduisent cependant par une diminution considérable de l'inventaire forestier. De même, une forêt dévastée, mais non défrichée, figure toujours, avec sa surface entière, sur le cadastre. Pour être satisfaisante, la statistique devrait donner, outre la surface boisée, le poids approximatif par essence du bois vivant; mais si l'on peut espérer de posséder, dans l'avenir, des résultats aussi précis, il est certain que pour le passé, il faut renoncer à des données même approximatives.

Quelle était, au commencement de l'âge de pierre, lorsque les premières familles humaines commencèrent à s'établir le long des rivières, quelle était la part occupée par des forêts sur la surface totale de la France? — Quelle était cette part des forêts lors des grandes migrations de la race Aryenne, dont les divers courants traversèrent et peuplèrent l'Europe? Quelle était-elle encore aux temps où la Gaule, déjà populeuse, débordait sur l'Italie avec Bellovèse et Brennus, et lançait, jusqu'en Grèce et en Asie Mineure, ses bandes aventureuses? Était-elle des trois quarts, des neuf dixièmes? On ne le saura jamais.

La superficie forestière de la France, au temps de César, a été estimée par de Perthuis à 40 millions d'hectares, par Fuster à 46 millions.

Voici quelques chiffres qui méritent plus de con-

fiance parce qu'ils se rapportent à des temps moins lointains. La superficie de la France, non compris Nice et la Savoie, étant de 53.027.894 hectares, on estime que le sol forestier s'étendait :

En 1791	sur	9.589.869	hectares
— 1827	—	8.948.653	—
— 1844	—	8.783.341	—
— 1850	—	8.860.133	—

Cette contenance se répartit conformément aux indications du tableau suivant :

Résumé statistique des changements subis par le sol forestier de 1791 *à* 1869 (1).

ANNÉES.	CONTENANCE DU SOL FORESTIER PAR CATÉGORIE DE PROPRIÉTAIRES.				TOTAL.	OBSERVATIONS.
	État.	Communes et établissements publics.	Couronne.	Particuliers.		
1791	1.360.492	2.033.880	120.882	6.074.615	9.589.869	Non compris la Savoie.
1827	1.184.829	1.903.352	120.882	5.733.690	8.948.653	
1844	1.101.792	1.869.068	106.929	5.707.562	8.783.341	
1850	1.226.453	1.874.909	»	5.758.771	8.860.133	
1869	1.088.966	2.132.567	67.202	»	»	Dunes, Savoie et Nice comprises.

De quelques erreurs que ces chiffres soient entachés,

(1) Les chiffres de ce tableau, pour les années 1791 à 1850, sont extraits du rapport fait par M. Beugnot, au nom de la commission du Corps législatif chargée de reviser le code forestier. — Session de 1851. (*Annales forestières*, 1851.)

Les chiffres relatifs à l'année 1869 sont extrait de l'*Annuaire des eaux et forêts.*

ils ne permettent cependant pas de croire, avec certains auteurs, que la France a perdu depuis 1789 la moitié de ses bois. Cette proportion peut être exacte, pour une région particulière, et même, pour le département des Hautes-Alpes, par exemple, elle peut être inférieure à la vérité; mais on voit, par le tableau ci-dessus, qu'appliquée à la France entière, cette part faite aux défrichements serait certainement exagérée. Cette remarque a son importance : au moment où nous allons rechercher quelle a pu être, sur le climat général de la France, l'influence du déboisement, il est bon de se rappeler que, déjà au siècle dernier, les forêts couvraient à peine le cinquième de la superficie totale, et que, sinon leur valeur, du moins leur étendue a peu diminué depuis cette époque.

CHAPITRE II.

LE DÉBOISEMENT DE LA FRANCE A-T-IL MODIFIÉ LA TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'ANNÉE?

Le climat d'un pays est l'ensemble des influences météorologiques auxquelles sont soumis les êtres vivants qui l'habitent, plantes ou animaux. Parmi les éléments d'un climat, *chaleur*, *électricité*, *lumière*, *humidité*, *vent*, *altitude*, etc., le plus important, celui qui, dans le langage vulgaire, caractérise surtout le climat, c'est la *température*.

Le déboisement de la France a-t-il modifié la température moyenne de l'année?

Cette question suppose d'abord qu'on a constaté un changement dans le climat de la France. Sur ce point, tout le monde paraît d'accord : notre climat n'est plus le même qu'autrefois; mais dans quel sens a-t-il varié? Est-il plus clément ou plus rude? Ici la divergence est complète. Les souvenirs classiques jettent un reflet litté-

raire sur la controverse : César (1), Diodore (2), Strabon (3), Florus (4), ont parlé des Gaules comme parleraient aujourd'hui, de l'Alsace ou de la Flandre, des Italiens arrivant de Rome ou de Naples ; ils ont qualifié d'*atrox cœlum* (5) notre ciel, que nous, Français, trouvons assez doux ; donc notre climat s'est adouci (6). Ce raisonnement ne satisfait pas les partisans de la thèse contraire : ceux-ci invoquent l'empereur Julien. Ce philosophe, après une jolie description de sa chère Lutèce et de la Seine, *qui rarement s'accroît ou s'abaisse*, attribue la douceur du climat de Paris au voisinage de l'Océan, par la raison, dit-il, que l'eau salée est plus chaude que l'eau douce : « Aussi, ce climat produit-il d'excellentes vignes, « et même on a trouvé, depuis quelque temps, l'art « d'élever des figuiers, en les revêtant, pendant l'hiver « avec des enveloppes de paille. »

Par malheur, on lit quelques lignes plus bas : « Cette « année-là, l'hiver était plus rigoureux qu'à l'ordi- « naire ; le fleuve charriait, pour ainsi dire, des

---

(1) *César :* De bello gallico, IV, 1 ; VII, 8 ; VIII, 4, 5.

(2) *Diodore*, V, 25.

(3) *Strabon*, IV, 1.

(4) *Florus*, III, 3.

(5) *Maury*, p. 45.

(6) Dans la première partie de son livre : *Des changements du climat de la France*, le docteur *Fuster* emploie deux fois cette méthode peu scientifique ; il conclut que le climat de la Gaule était plus rigoureux qu'aujourd'hui, parce que les Romains l'ont trouvé rigoureux. Il conclut ensuite que le climat s'est réchauffé dans les premiers siècles de l'ère chrétienne, parce que les barbares arrivant de la Germanie parlent de la douceur du climat de la Gaule.

« plaques de marbre qui semblaient prêtes à joindre les « deux rives (1). »

Il semble donc que, sans prendre la peine d'opposer entre eux des auteurs différents, on peut trouver dans la même version latine des arguments pour les deux opinions. En réalité, le témoignage des anciens est ici de peu de poids; les savants sans doute s'accorderont davantage. Parmi eux, quelle autorité plus considérable peut-on invoquer que le grand nom d'Arago? Il a plusieurs fois traité la question avec détail et notamment dans une longue notice sur l'état thermométrique du globe. Après une énumération de preuves, il conclut ainsi : « Voilà, ce me semble, de quoi convaincre les plus « incrédules qu'avec la suite des temps, les étés ont « perdu en France et en Angleterre une partie notable « de leur chaleur (2). »

Le 27 février 1836, Arago s'adressait en ces termes à la chambre des députés : « Vous serez peut-être étonnés « d'entendre que, dans les environs de Paris, il y a « quelques siècles, il faisait beaucoup plus chaud qu'au- « jourd'hui; une foule de documents historiques le « prouve cependant (3). »

Il faudrait une compétence bien reconnue et d'irrécu-

---

(1) *Julien : Misopogon. — Arago :* Œuvres complètes éditées par *Barral*, VIII, p. 231.

(2) *Arago*, VIII, p. 234.

(3) *Arago*, XII, p. 435.

sables preuves pour opposer une objection timide à cette conclusion si nette; mais Arago nous dit ailleurs :

« On accordera du moins que ces observations prou-
« vent, contre une opinion fort répandue, que le climat
« de la capitale de la France ne s'est point détérioré dans
« les temps modernes (1). »

Il répète encore : « L'examen des faits consignés dans
« la table précédente démontre, à tout esprit non pré-
« venu, que le climat de l'Europe ne s'est aucunement
« détérioré depuis le commencement de l'ère chré-
« tienne (2). »

Ces affirmations contraires résultent de considérations différentes fournies soit par les observations thermométriques, soit par les archives historiques.

L'invention du thermomètre remonte vers l'an 1590; mais, par suite du mauvais choix, fait à l'origine, pour le zéro de la graduation, c'est à peine si les observations du dix-huitième siècle sont comparables avec les nôtres. Arago lui-même reconnut, en 1817, que le thermomètre de l'observatoire, établi avec beaucoup de soin par Cassini et Lavoisier et consulté sans défiance depuis 1783, était erroné de 0°.38 (3). L'erreur fut mesurée au moyen d'un thermomètre construit pour cet objet par Gay-Lussac et qui, à son tour, quelques années plus tard, se trouva inexact. Malgré ces incertitudes, Arago

(1) *Arago*, VIII, p. 353.
(2) *Arago*, VIII, p. 479.
(3) *Arago*, VIII, p. 612, 641, 645.

établit que, de 1776 à 1826, soit pendant 50 ans, la température de Paris n'a pas varié de un vingtième de degré.

Cette fixité de la température moyenne doit être admise, au moins pour la première moitié du dix-neuvième siècle, soit que l'on considère l'année entière, soit que l'on examine séparément l'été et l'hiver. C'est ce que démontre le tableau suivant, qui résume une table plus détaillée donnée par Arago.

Tableau des températures moyennes de Paris par périodes décennales.

PÉRIODES.	TEMPÉRATURE MOYENNE		
	de l'hiver.	de l'été.	de l'année.
1804 — 1813	3°,6	17°,9	10°,7
1814 — 1823	3 ,2	17 ,6	10 ,6
1824 — 1833	3 ,2	18 ,3	10 ,9
1834 — 1843	3 ,3	18 ,6	10 ,8
1844 — 1853	3 ,8	18 ,4	10 ,8
1804 — 1853	3 ,2	18 ,3	10 ,7

Les archives ont gardé le souvenir de deux phénomènes bien distincts : la congélation des fleuves et le déplacement de certaines cultures. La statistique des hivers rigoureux pendant lesquels les rivières gelèrent, suffirait peut-être pour démontrer la variation du climat, si cette variation était considérable, si, par exemple, des phénomènes autrefois exceptionnels étaient devenus ha-

bituels. Mais il n'en est rien : la congélation des fleuves a toujours été, en France, un phénomène exceptionnel. D'ailleurs, les documents dont on dispose sont incomplets. Ainsi, les chroniqueurs ne rapportent aucun exemple de la congélation de la Seine antérieur à l'année 822, tandis que, pour le Rhône, ils donnent des observations positives qui remontent au cinquième siècle. On ne peut assurément conclure de leur silence qu'avant le neuvième siècle, le Rhône gelait plus souvent que la Seine. Le tableau suivant donne une statistique des congélations historiques du Rhône et de la Seine telle qu'elle résulte d'une longue et très-curieuse table dressée par M. Barral dans les œuvres d'Arago (1).

Nombre des observations historiques de congélation.

ÉPOQUES.	RHÔNE.	SEINE.
Ve siècle.	1	»
VI, VII, VIII.	»	»
IX.	3	2
X, XI, XII.	»	»
XIII.	2	1
XIV.	4	2
XV.	1	5
XVI.	2	1
XVII.	1	5
XVIII.	3	14
XIX jusqu'en 1854.	2	11
Totaux.	19	41

(1) *Arago*, VIII, p. 258.

Il semblerait, d'après ce tableau, que, jusqu'au XIVe siècle, la Provence était plus froide que l'Ile-de-France. En réalité, de pareilles statistiques ne prouvent rien pour notre objet, sinon il faudrait admettre comme prouvé que, le port de Marseille ayant gelé deux fois dans le XVIe siècle,

Une fois dans le XVIIe siècle,

Une fois dans le XVIIIe siècle,

Et jamais depuis le commencement du XIXe siècle (1), le climat de la Provence s'est réchauffé pendant ces derniers trois cents ans.

Les variations des cultures conduisent à des conclusions plus nettes. C'est par un ensemble de témoignages historiques relatifs à la culture de la vigne, de l'olivier, de l'oranger, du palmier, etc., qu'Arago établit, avec une concordance de preuves qui est de nature à faire impression, que, depuis l'origine des temps historiques, le climat n'a pas varié en Judée, en Égypte, en Italie, en Provence, tandis qu'il s'est sensiblement refroidi dans le nord de la France et le sud de l'Angleterre.

Il y avait autrefois des vignes productives en Angleterre, en Normandie et en Bretagne : elles ont disparu (2). Ces changements ont eu lieu depuis le XVe siècle et paraissent continuer de nos jours, au moins pour l'Angleterre, où déjà l'on prévoit la disparition du pommier (3).

---

(1) *Arago*, VIII, p. 254.
(2) *Arago*, VIII, p. 234.
(3) *Arago*, VIII, p. 242.

M. Charles Martins, sans nier absolument le refroidissement de la Bretagne et de la Normandie, explique (1) que l'intérêt du commerce, le perfectionnement des voies de communications, les changements d'habitude peuvent, comme l'altération du climat, déplacer les cultures. La Flandre, par exemple, ne s'est pas donné le climat de la Virginie depuis qu'elle cultive le tabac d'Amérique. Sur le versant septentrional des Alpes pennines, la culture monte plus haut que sur le versant méridional; cependant, le climat y est plus rude; mais la population du Valais est plus laborieuse et plus dense que celle du Val d'Aoste.

Ces objections, un peu théoriques, ne détruisent pas complétement l'ensemble de preuves groupées par Arago à l'appui de l'opinion contraire, laquelle s'appuie en outre sur la tradition populaire. Il est d'ailleurs un fait décisif: le Groënland, auquel les Islandais qui le découvrirent avaient donné ce nom significatif de *Terre verte*, le Groënland formait, au XIIIe siècle, une colonie florissante. Dès 1408, il s'était si bien refroidi que l'évêque Andrew (le dix-septième évêque depuis la colonisation), venant prendre possession de son siége, trouva la côte bloquée par les glaces et ne put l'aborder (2). En 1855, le recensement officiel ne comptait plus au Groënland que 122 européens, missionnaires ou pêcheurs, qui vivaient misérablement, grâce aux secours du Dane-

(1) *Ch. Martins :* Météorologie de la France dans *Patria.*
(2) *Arago*, VIII, p. 234.

mark (1). Des faits analogues, bien connus de tous sont relatifs à l'Islande, à l'île de Jean Mayen, au Spitzberg, à la côte Norwégienne (2). L'hémisphère nord s'est donc refroidi. Comment admettre qu'un phénomène si général et si lent soit limité sur la planète, par une ligne nettement tracée? On est donc porté à croire que la cause, quelle qu'elle soit, qui a si puissamment agi sur différentes côtes de l'Océan boréal a fait sentir son influence, affaiblie et lointaine, sur les côtes d'Angleterre et de France. On sait d'ailleurs qu'il suffit d'un demi-degré d'abaissement dans la température moyenne annuelle, ou d'un léger changement dans la répartition des saisons pour faire reculer, sur de vastes espaces, une culture déterminée. La température moyenne annuelle, qui est à Londres de 9°8 est à Paris de 10°7. La différence n'atteint pas un degré; cependant Paris est entouré de vignes et Londres n'en possède pas.

Arago, frappé de ce fait du Groënland, y revient plusieurs fois; mais il refuse de lier par une cause commune le refroidissement si considérable de l'Océan polaire et celui si faible qu'il attribue aux côtes de la Normandie et de l'Angleterre (3). Il donne pour raison que le Groën-

---

(1) *Charles Edmond : Voyage à bord de la Reine-Hortense.* p. 288.

(2) *Chancourtois :* Notice scientifique insérée à la suite du *Voyage à bord de la Reine-Hortense.—Lord Dufferin : Lettres écrites des régions polaires* (*Moniteur universel*, du 31 juillet 1856). — *Jardin : Mémoire sur les anciennes forêts de l'Islande.* — *Babinet : Études et Lectures*, etc. (5e volume, 1858, p. 99, 117.)

(3) *Arago*, VIII, p. 235.

land s'est refroidi longtemps avant la Normandie. Mais par cela même que la cause supposée identique s'est montrée plus énergique dans le Nord, n'est-il pas naturel que ses effets aient été plus lents et plus tardifs dans le Sud? Le Groënland ne s'est pas refroidi brusquement, et certainement il se refroidit encore. Les Esquimaux qui l'habitent, mesurent la marche des glaciers qui, de l'intérieur des terres, s'avancent vers la mer et comblent peu à peu les vallées et les fiords. Lorsque l'Américain Hayes, qui avait hiverné parmi eux, les quitta promettant de revenir : « Ne tarde pas, » lui dit le chef de la tribu, « si tu veux retrouver ici des hommes, car « notre race n'a plus que quelques soleils à vivre (1). » L'île de Jean Mayen et le Spitzberg, si fréquentés au XVIIe siècle, et sur lesquels les Hollandais firent, en 1633, deux essais d'hivernage avec quatorze hommes dont sept furent retrouvés sains et saufs (2), n'étaient pas alors comme aujourd'hui réunis au Groënland par une banquise immobile. La cause inconnue qui a refroidi cette partie de notre hémisphère était donc en activité à l'époque même où s'est altéré le climat de la Normandie.

L'opinion d'Arago sur la cause de ce refroidissement nous ramène directement à notre sujet; d'après lui, cette cause, au moins pour ce qui concerne la France, est le *déboisement;* c'est pour combattre le déboisement qu'il adressait à la chambre les paroles rapportées ci-

(1) *Hayes : La mer polaire.*

(2) *Ch. Martins : Du Spitzberg au Sahara*, p. 60.

dessus. Dans sa notice déjà citée, il s'exprime en ces termes :

« Ainsi, le *déboisement*, la formation de larges clai-
« rières dans les forêts conservées, la disparition à peu
« près complète des eaux stagnantes, le défrichement
« des vastes plaines qui devaient peu différer des steppes
« de l'Asie ou de l'Amérique : *telles sont les principales*
« *modifications que la surface de la France a subies*
« *dans l'intervalle de quelques centaines d'années* (1). »
Passant ensuite à l'Amérique, que l'on défriche aujourd'hui comme jadis on a défriché la France; il ajoute :
« On s'accorde » (on verra plus loin que Humboldt conclut en sens contraire) « à reconnaître que le défri-
« chement a modifié le climat ; les hivers sont moins
« rudes et les étés moins chauds. »

Plus bas, on lit encore au sujet de l'Amérique :
« Mais cela ne dit pas si la température moyenne a
« été altérée. Le bénéfice des hivers pourrait en effet y
« compenser la perte des étés. Il est cependant probable
« que cette compensation n'a pas lieu. »

Dans un autre passage, sans s'attacher à la distinction des saisons, Arago dit d'une manière générale :
« Les forêts ne peuvent manquer d'exercer une in-
« fluence sensible sur la température des régions envi-
« ronnantes; car, par exemple, la neige s'y conserve
« beaucoup plus longtemps qu'en rase campagne. La

(1) *Arago*, VIII, p. 236.

« destruction des forêts doit donc amener une modifi-
« cation dans les climats (1). »

Par parenthèse, il semble ici que le déboisement doit réchauffer le climat; tandis que tout à l'heure on attribuait au déboisement le refroidissement constaté dans certaines parties de la France. Boussingault et Becquerel, qui font autorité dans ces matières, attribuent nettement une action réfrigérante aux forêts. Ce dernier va jusqu'à dire (2) :

« Si, dans la suite des siècles, les sables du Sahara
« se couvraient de bois, ces sables ne s'échaufferaient
« pas autant, sous le rayonnement solaire, qu'à l'époque
« actuelle : par conséquent, les vents du sud qui amé-
« liorent aujourd'hui notre climat n'ayant plus une
« température aussi élevée, le rendraient plus rude. Il
« suffit, pour s'en convaincre, d'examiner ce qui se
« passe sur le continent américain où les régions tro-
« picales sont coupées par de vastes forêts, d'immenses
« savanes et de grands cours d'eau.... C'est précisément
« par ce motif que le continent américain, à latitude
« égale, est plus froid que le nôtre... »

Si ce n'est pas, comme on l'admet généralement, le grand courant équatorial, le *gulfstream* qui réchauffe l'Europe; si, au contraire, ce sont les forêts qui refroidissent l'Amérique, les pionniers font une œuvre méritoire en détruisant les forêts vierges. Cependant le mé-

(1) *Arago*, p. 16.
(2) *Becquerel : Mémoires de l'Institut*, T. XXXV, p. 473, 478.

moire dont cette citation est extraite est un éloquent plaidoyer en faveur des forêts: et peu s'en faut qu'il n'attribue au déboisement la ruine de Carthage, de Memphis et de Thèbes (1).

Dans ce mémoire est impartialement rapportée l'opinion très-précise de Humboldt. L'auteur du Cosmos, discutant un grand nombre d'observations thermométriques recueillies, par trente-cinq postes militaires dispersés dans l'Amérique septentrionale de 1771 à 1834, soit une période de 163 ans, pendant laquelle les défrichements ont été poussés avec toute la vigueur dont les Américains sont capables, arrive à cette conclusion: « Ces observations tendent à démontrer, contrairement « à l'opinion assez généralement admise, que, depuis « le premier établissement des Européens en Pensylvanie et en Virginie, le climat n'est pas devenu plus « uniforme, plus doux en hiver, et plus frais en été « qu'il était avant, en deçà et au delà des Alleghanies, « par la destruction d'un grand nombre de forêts (2). »

Le lecteur sans parti pris adopterait bien volontiers cette opinion de Humboldt sur la fixité du climat de l'Amérique, quoique directement contraire à celle d'Arago, parce qu'elle s'appuie, non sur le témoignage des hommes, mais sur celui du thermomètre. Mais M. Becquerel nous rejette à nos perplexités par cette correction

(1) *Becquerel*, p. 472.
(2) *Becquerel*, p. 479.

dont il fait suivre immédiatement les lignes rapportées plus haut : « Néanmoins, on ne saurait disconvenir, « comme M. de Humboldt le reconnaît lui-même, que « le déboisement n'améliore la température moyenne « en faisant disparaître trois causes frigorifiques... »

Voici d'ailleurs un troisième exemple où le thermomètre est moins affirmatif. A la vérité, on peut élever quelques doutes contre la valeur de ces observations qui sont fort anciennes et n'embrassent qu'une courte période de quinze années. Cet exemple ne saurait donc infirmer les deux précédents ; il faut le rapporter cependant parce qu'il offre un grand intérêt historique.

Sitôt que Galilée eut inventé le thermomètre, vers 1590, l'Académie *del Cimento* en fit construire un grand nombre, comparables entre eux, et les répandit dans toute la Toscane : les observations, poursuivies assidûment, pendant plusieurs années, remplirent de volumineux régistres. Malheureusement, un prince de Toscane ayant demandé le chapeau de cardinal, la cour de Rome, acharnée après la mémoire de Galilée, mit pour condition que l'Académie *del Cimento* serait dispersée et le trésor de ses archives détruit. Quelques registres cependant furent sauvés ; mais ils restaient sans usage, faute de comparaison possible entre la graduation moderne et celle qu'avait adoptée l'Académie, lorsqu'un heureux hasard fit découvrir, à Florence, en 1828, une caisse contenant un grand nombre de ces anciens thermomètres, témoins vénérables de la physique à son aurore. Après s'être assuré qu'ils s'accordaient entre eux,

on repéra leur graduation à celle adoptée depuis, et l'on put comparer aux observations modernes celles faites de 1655 à 1670 par le père Raineri, dont on avait les registres (1). Cette comparaison conduit, d'après Arago, « à cette importante conséquence que le déboisement « des montagnes, opéré depuis une soixantaine d'années, « n'a amené en Toscane, contre une opinion presque « générale, aucune diminution sensible de tempéra- « ture. » Cependant, par l'examen des températures extrêmes d'hiver et d'été, Arago conclut sous cette forme un peu dubitative : « Ainsi, hivers moins froids, étés moins « chauds, telle est la modification de climat que la Tos- « cane paraît avoir subie. Il resterait à chercher si les « observations de Raineri confirment le résultat précé- « dent, non plus seulement à l'aide des degrés extrêmes « de chaleur et de froid, mais encore par l'ensemble des « températures de chaque mois, je veux dire par « ce qu'on appelle très-justement les températures « moyennes (2). »

Tous les exemples rapportés ci-dessus ne sont pas de

---

(1) *Arago*, VIII, p. 227. — *Ch. Martins : Du Spitzberg au Sahara*, p. 458.

(2) *Joseph Bertrand*, après avoir donné une description de ces thermomètres de Galilée par lesquels la température était mesurée par la dilatation d'une bulle d'air, ajoute : « La pression « barométrique et la tension variable de la vapeur d'eau trou- « blaient, on le voit, l'instrument, qui dépourvu de points fixes ne « pouvait donner d'indications comparables. » (*Les Fondateurs de l'astronomie*, Paris, Hetzel, p. 200.) Il semble, d'après cela, que le témoignage des thermomètres trouvés à Florence n'a qu'un intérêt historique et non scientifique.

nature à fixer l'opinion, et l'on conçoit qu'au milieu de ces divergences des maîtres, plusieurs auteurs aient nié l'influence du déboisement de la France sur son climat (1). En effet, des difficultés sérieuses se présentent. D'abord, la Normandie et la côte anglaise à l'époque où l'on y cultivait la vigne, étaient sans doute notablement déboisées. Le changement constaté dans le climat de cette région est postérieur au quinzième siècle; mais, au seizième siècle, le déboisement de la France était bien avancé; au dix-septième, Sully et Colbert l'ont partiellement enrayé. L'Angleterre, dit-on, se refroidit encore, puisque le pommier va disparaître; mais depuis longtemps l'Angleterre n'a plus de forêts à défricher. Si le déboisement a refroidi la Normandie, pourquoi l'Égypte, la Judée, la Grèce, si complétement déboisées, ont-elles conservé leur climat? On prétend que de nos jours les oliviers gèlent plus souvent qu'autrefois. Admettons ce fait, quoiqu'il ne soit nullement prouvé; mais, s'il peut être attribué au déboisement vers les bords de l'Hérault, au pied des Cévennes dénudées, quelle en est la cause dans le Var, un de nos départements les mieux boisés et qui est même plus boisé qu'autrefois?

Est-ce le déboisement qui a refroidi le Groënland, l'Islande et l'océan Polaire? Autant vaudrait attribuer au déboisement les ravages de la période glaciaire qui a modifié si profondément le climat de l'Europe. Il faut une cause plus générale que le déboisement, une cause

(1) *Vallès, Eug. Tisserand.*

géologique ou astronomique pour expliquer un phénomène qui s'est fait sentir du Groënland à la Norwége, de la Normandie au Spitzberg. Quelle est cette cause unique qui refroidit si énergiquement le Groënland et si faiblement la Normandie? Plusieurs hypothèses ont été présentées.

On est d'accord pour attribuer au *gulfstream* le climat tempéré des côtes occidentales du nord de l'Europe, alors que sous la même latitude la côte orientale de l'Amérique est presque inhabitable. D'autre part, on a observé des mouvements considérables sur les côtes de l'océan Polaire : la Norwége (1) et le Groënland (2) s'exhaussent sensiblement. D'après cela, plusieurs géologues, admettant que le fond de la mer a participé à ces grands mouvements de la côte, ont supposé que par le soulèvement de son lit, le *gulfstream* s'est trouvé quelque peu dévié ou amorti (3). Ainsi, l'on expliquerait comment le climat des côtes de Bretagne, de Normandie et d'Angleterre a pu se refroidir d'une fraction de degré, tandis que celui de Paris, de la Provence et du reste de la France s'est conservé sans altération. Reste à savoir si la déviation du *gulfstream* suffit pour expliquer le refroidissement du Groënland.

Mais l'explication la plus large, et, si l'on peut dire,

---

(1) *Bravais : Voyage de la corvette la Recherche.—Ch. Martins : Du Spitzberg au Sahara*, p. 127.

(2) *De Chancourtois : Voyage de la corvette la Reine-Hortense*, p. 104.

(3) *De Chancourtois. — Élie de Beaumont*, cité par *Babinet* (*Études et Lectures*, 1858).

la plus séduisante de ces phénomènes est donnée par Adhémar dans son livre des *Révolutions de la mer* (1). Si, pour chaque hémisphère, on appelle *été* la période comprise entre l'équinoxe de printemps et celui d'automne, et *hiver* le reste de l'année, on sait que l'été de l'hémisphère boréal est de huit jours environ plus long que celui de l'hémisphère austral. Cette inégalité résulte de l'inclinaison de l'axe de rotation, de l'excentricité de l'orbite terrestre et de la gravitation en vertu de laquelle la terre doit accélérer sa course lorsqu'elle passe plus près du soleil. Mais cette différence entre les saisons des deux hémisphères n'est pas constante: par suite de la *précession des équinoxes* combinée avec *le déplacement angulaire de l'orbite terrestre*, cette différence augmente ou diminue pendant une période de 21.000 ans environ; elle a atteint son maximum en 1248; depuis cette époque, elle diminue, et notre hémisphère se refroidit, tandis que l'hémisphère austral se réchauffe. C'est pour cette raison que les glaces du pôle nord envahissent le Groënland et l'Islande, tandis qu'au pôle austral les frégates de Dumont d'Urville ont pu atteindre, en 1839, des latitudes loin desquelles, en 1773, Cook s'était vu arrêté par la banquise.

L'auteur, exagérant sa théorie, en tire de bien autres conséquences; il croit pouvoir rattacher à la *précession des équinoxes* les déluges et la période glaciaire. D'après lui, ces grandes catastrophes que l'humanité se rappelle

(1) *Adhémar* (Paris, Lacroix, 1860).

et dont la géologie interroge les monuments, ne sont pas des accidents, mais des événements périodiques : la terre oscille sur ses pôles, et la progression, si lente pour nous, des glaces polaires n'est que le mouvement visible d'un pendule dont chaque battement mesure dix mille cinq cents ans et bouleverse la face du globe.

Ces conséquences seraient facilement acceptées par l'esprit philosophique de notre siècle, si elles étaient solidement établies ; mais il n'en est rien. Pour la période glaciaire notamment, dix mille ans paraissent peu de chose, eu égard aux traces qu'elle a laissées ; aussi, l'a-t-on rattachée, soit à une période beaucoup plus longue, celle de la variation de l'excentricité de l'orbite terrestre qui dépasse cent dix mille ans, soit, d'après l'hypothèse de Humboldt à *un hiver cosmique* que le système solaire tout entier aurait subi en traversant des régions plus froides de l'espace. Agassiz a récemment découvert sous l'équateur, dans le bassin de l'Amazone, des traces glaciaires qui confirmeraient l'hypothèse de Humboldt et réduisent à ses justes limites la théorie d'Adhémar (1).

Sans nous perdre dans cette controverse, nous serons disposés à admettre que la température, à la surface du globe, peut varier avec les révolutions astronomiques ; mais que, ni la charrue du laboureur, ni la cognée du bûcheron, qui égratignent à peine l'épiderme de leur planète, n'exercent sur la température de l'atmosphère une action sensible.

---

(1) *Agassiz* : *Voyage au Brésil.*

La date de 1248, fournie avec précision par l'astronomie pour l'année la plus chaude de notre hémisphère, s'accorde assez bien avec la tradition populaire. Théoriquement notre climat doit être le même à deux époques également éloignées du maximum; par exemple, en 648 et en 1848. En conséquence, la vigne, suivant à la fois le progrès de la civilisation et celui de la température, a pu s'élever vers le nord jusqu'en 1248; mais, depuis cette époque, elle est forcée de reculer vers le midi. Telle est en effet la conclusion à laquelle était arrivé le docteur Fuster par la seule discussion des témoignages historiques : d'après lui, c'est à partir du XIIIe siècle que notre climat s'altère définitivement. Nous avons cité le fait du Groënland, dont le refroidissement a commencé à être sensible dans le XIVe siècle. Les glaciers des Alpes fournissent une preuve nouvelle : M. de Venetz a établi qu'ils sont, aujourd'hui, beaucoup plus avancés qu'au moyen âge, et que certains passages, fréquentés alors, sont maintenant inaccessibles.

Il ne faut d'ailleurs pas confondre cette progression séculaire des glaciers avec leurs oscillations annuelles bien connues des touristes. Ainsi, les glaciers de la vallée de Chamouny, après avoir progressé, de 1846 à 1854, reculent depuis cette époque. Ces mouvements dépendent des variations de l'humidité et de la chaleur atmosphérique; ils sont la vraie mesure des changements du climat; ils révèlent à la fois des périodes courtes et des périodes longues, et, pour n'être point tenté de les attribuer au déboisement, il suffit de remonter du regard

les escarpements gigantesques du haut desquels le front chauve du mont Blanc domine l'Europe.

De ce que le déboisement n'a pu altérer le climat général de la France, il ne s'ensuit pas que les défrichements n'ont pas une influence locale. Un mur d'espalier ne change pas la température moyenne d'un lieu; cependant il permet de récolter des fruits que, sans son abri, l'on n'aurait pas vu mûrir.

Arago résumait ainsi son opinion devant la Commission d'enquête nommée par la Chambre de 1836, à propos d'une modification du *Code forestier :*

« Si l'on abattait un rideau de forêts sur la côte mari-
« time de la Normandie ou de la Bretagne, ces deux
« contrées deviendraient accessibles au vent d'ouest, aux
« vents tempérés venant de la mer. De là, une diminu-
« tion dans le froid des hivers. Si une forêt toute pareille
« était défrichée sur la frontière orientale de la France,
« le vent d'est, plus glacial, s'y propagerait plus forte-
« ment, et les hivers seraient plus rigoureux : la des-
« truction d'un rideau aurait donc produit, çà et là, des
« effets contradictoires (1). »

Voici quelques faits ou témoignages à l'appui de cette déclaration d'Arago :

« M. Becquerel a utilisé le rayonnement calori-
« fique d'un bois pour faire mûrir la vigne dans une

(1) *Becquerel* : *Mémoire cité*, p, 446.

« localité du Loiret, où elle n'avait jamais été cul-
« tivée (1). »

M. de Gasparin a signalé que, dans la vallée du Rhône, où souffle fréquemment le *Mistral*, une simple haie de deux mètres de hauteur suffit pour préserver une bande de vingt-deux mètres et rendre possible la culture des légumes (2).

M. Charles Martins, dans une jolie description de la *Crau* d'Arles, confirme l'observation de M. Gasparin :

« Au milieu de la plaine, on remarque çà et là des
« parties cultivées, entourées de grands arbres, au mi-
« lieu desquels la ferme est cachée. On les désigne sous
« le nom de *Cousous* : ce sont les oasis de la Crau. Sans
« transition, on passe de la plaine découverte, nue et
« brûlante, dans l'ombre fraîche et sombre des ormeaux
« et des peupliers séculaires, dont le pied baigne dans
« les canaux d'irrigation. A l'abri de ces arbres, tout
« réussit, car les eaux de la Durance, chargées du limon
« noir des terrains liasiques qu'elles traversent, sont
« portées jusqu'aux extrémités de la Crau.... Les prai-
« ries, défendues par les arbres à feuilles caduques
« contre l'ardeur du soleil en été, et fumées par le
« pacage des moutons en hiver, sont aussi vertes que
« dans le nord de la France.... Le mûrier, le figuier,
« l'olivier, le cerisier et les autres arbres fruitiers pros-
« pèrent à l'abri du Mistral, défendus par les rideaux de

(1) *Vallès : L'aliénation de forêts*, p, 51.
(2) *Becquerel : Mémoire*, p, 449.

« magnifiques cyprès qui bordent les rigoles d'arrose-
« ment. Dans les mêmes conditions, les légumes pros-
« pèrent très-bien sur le sol nettoyé de pierres et réduit
« aux alluvions fertiles déposées par les eaux (1). »

On voit, par ces citations, combien cette influence des plantations est locale, et comme il faut se garder de la généraliser. Cependant, cette généralisation est fréquente; la discussion soulevée, dans la presse, en 1865, par le projet d'aliénation des forêts, a fait surgir nombre de systèmes absolus, qui n'ont pour base qu'une observation locale ou incomplète. *A priori*, l'on ne peut pas dire que, par le voisinage des forêts, la température moyenne d'un lieu soit toujours élevée ou abaissée. En réalité, l'influence des forêts est tantôt positive et tantôt négative, suivant les circonstances locales. Il en est de même pour leur influence sur la salubrité, qui n'a pas été moins controversée que celle sur la température. Qu'on imagine un village enfermé par une ceinture de forêts en compagnie d'un marécage et décimé par la fièvre. Sans doute, il ne manquera pas de gens pour prêcher le défrichement; cependant, il faut considérer les circonstances locales : si le vent régnant doit jeter les miasmes sur les habitations, il vaut mieux conserver l'abri de la forêt; mais si le vent doit balayer le village avant d'atteindre le marais, il faut, sans tarder, faire à la forêt une large ouverture, surtout s'il y a chance que le défrichement livre une issue aux eaux stagnantes. Au con-

(1) *Ch. Martins : Du Spitzberg au Sahara*, p. 433.

traire, dans les marais Pontins, les habitations cherchent un abri derrière un rideau d'arbres.

Citons à ce propos un exemple singulier de parti pris. Il est admis (1) que, dans le même temps, et toutes choses égales d'ailleurs, la végétation ne fixe pas plus de carbone sur un hectare de forêt que sur pareille surface de prairie ou de céréales; ce qu'on s'explique aisément parce que le soleil, source unique de la vie, verse également ses rayons sur la forêt et sur la prairie. D'après cela, certains partisans du déboisement (2) ont cru pouvoir affirmer que la forêt, ne décomposant pas plus de miasmes, ne purifie pas l'air plus activement que la prairie. Il semble cependant que pour l'homme, dont les narines s'ouvrent à un mètre et demie au-dessus de ses pieds, et dont la demeure peut s'élever de plusieurs étages au-dessus du sol, il n'est pas indifférent d'être séparé d'un foyer de pestilence, par une futaie haute de vingt mètres ou par une pelouse fraîchement rasée.

C'est par le même esprit particulariste que, réduisant la question des forêts à une fraction qui exprime, dans la consommation totale du carbone faite par la France, la part fournie par les forêts et celle fournie par la houille, on a pu dire, à propos de l'aliénation projetée en 1865 : « Ainsi, la substitution de la fraction 0,67 « à celle 0,69, voilà ce qui, au pis aller, caractérisera

---

(1) *Boussingault*, *Liebig*, *Chevandier*, *Heyer*, *Gasparin*. Voyez : *Revue Contemporaine*, 1866, tome LX, p. 596.

(2) *Eug. Tisserand* (*Revue Contemporaine*, p. 596.)

« la situation nouvelle, voilà la véritable mesure du « changement qui va se produire (1). » — Que dirait cependant un constructeur de navires si, pour un grand mât qu'il réclame, on lui offrait une tonne de houille au lieu d'un tronc séculaire?

Sans prétendre embrasser dans son ensemble la question des forêts, si l'on se borne, comme nous l'avons fait ci-dessus, à considérer leur influence sur le climat d'une contrée, on se trouve en présence d'un problème dont M. Becquerel a justement fait ressortir l'extrême complication (2). Pour le résoudre, « il faut connaître « la position géographique, la constitution géologique « de cette contrée, sa latitude, sa proximité ou son éloi- « gnement de la mer, la nature de son sol et celle de « son sous-sol, alors que l'un ou l'autre est perméable « ou imperméable, siliceux, calcaire ou argileux, élé- « ments qui doivent être pris en considération.

« .... L'action des forêts dépend encore : 1° de leur « étendue, de leur élévation, de la nature du sol et de « celle du sous-sol; 2° de leur orientation par rapport « aux vents chauds ou froids, secs ou humides; 3° de « l'âge auquel on coupe les arbres, de leur espèce, « c'est-à-dire s'ils sont à feuilles caduques ou à feuilles « persistantes, attendu que les pouvoirs rayonnant et « émissif ne sont pas les mêmes dans toutes les saisons; « 4° de la saison des pluies, si elles sont à pluies d'été,

(1) *Vallès : L'aliénation des forêts*, p. 35.
(2) *Becquerel : Mémoire*, p. 440.

« d'automne ou d'hiver; 5° de la proximité des marais « pestilentiels, etc., etc... »

On conçoit qu'un problème ainsi posé ne peut être résolu que par des observations poursuivies pendant une longue série d'années, avec des circonstances locales très-difficiles à rencontrer. Il faut se hâter de couvrir d'observatoires l'Amérique et la Russie, et peut-être, dans quelques siècles, aura-t-on des idées nettes sur l'influence du déboisement.

Si le problème est insoluble pour les savants, comment se fait-il qu'il soit résolu par le vulgaire ? D'où vient que les préjugés populaires, sans s'accorder sur le sens dans lequel agit le déboisement, s'accordent pour lui attribuer une grande influence sur le climat ? Ces contradictions sont le résultat des habitudes naturelles de l'esprit humain. Il n'est pas hors de propos de les analyser ici, car, dans le cours de ces études, nous en rencontrerons d'autres exemples.

Rien n'est fixe dans la nature; tout oscille, la molécule comme l'Océan (1), mais surtout l'atmosphère que sa mobilité livre à toutes les influences contraires. Par suite, le climat varie avec les heures du jour, avec les mois de l'année et même avec les siècles et les périodes de siècles. Ces variations sont périodiques : ce sont des oscillations, en apparence accidentelles, autour d'une moyenne que l'on peut considérer comme con-

(1) *Ch. Martins.*

stante, quoiqu'elle-même varie dans la suite des âges. Mais ces deux *modes* du climat, *l'accident variable* et la *moyenne constante*, frappent bien différemment notre esprit : l'idée de variation est vulgaire, elle s'impose à chacun de nous par une expérience personnelle, directe, mille fois répétée, car, suivant le proverbe : *les jours se suivent et ne se ressemblent pas*. Au contraire, la fixité séculaire du climat est une sorte d'abstraction qui exige un effort de la réflexion et qui ne se révèle que par des comparaisons et de patientes recherches dans les archives scientifiques. Ainsi, dans le climat, sa variabilité nous frappe et sa constance nous échappe. Vienne alors une série d'années plus chaudes ou plus froides, aussitôt quelque vieillard, *laudator temporis acti*, s'écriera « que le climat s'est gâté; qu'autrefois les hivers étaient plus vifs et les étés plus féconds. » D'autres répéteront son dire et ainsi s'accréditera, peu à peu, la croyance à la détérioration du climat.

Mais notre esprit, dès qu'on lui montre un effet, réclame impérieusement une cause; et même, dans son impatience, il n'attend pas toujours que l'effet soit constaté et suffisamment établi pour en chercher la cause. Il nous faut donc une cause pour cette détérioration non démontrée, mais présumée du climat. Cette cause où la chercher? Faut-il croire que les grands phénomènes, astronomiques ou géologiques, d'où le climat dépend aient subi quelque trouble? Une pareille opinion est si contraire à notre confiance dans l'immuable régularité des lois naturelles, qu'avant de l'adopter chacun essayera

d'abord d'expliquer la variation du climat par quelque accident. L'explication sera d'autant plus attrayante, d'autant plus facilement acceptée, si elle impute la détérioration du climat à quelque méfait de l'espèce humaine, et particulièrement de ceux qui ont assumé la lourde charge du gouvernement. L'esprit ainsi disposé recherche naturellement « *quelles sont les principales « modifications que la surface de la France a subies dans « l'intervalle de quelques centaines d'années* (1). »

Le déboisement attire d'abord les regards; l'attention se fixe sur lui; quelques observations locales trop généralisées confirment cette première vue, et bientôt l'on en vient à soutenir que si le *mistral* désole aujourd'hui la vallée du Rhône, c'est parce qu'on a déboisé les Cévennes (2). En vain, l'on répondrait que le mistral soufflait du temps des Romains, qui l'appelaient *Melamboreas* en grec, et *Cirsius* en latin (3), et qu'à cette époque on lui attribuait déjà, comme aujourd'hui, la salubrité de Marseille; que si les Cévennes ont jamais été couvertes de forêts, leur déboisement remonte à la plus haute antiquité; que d'ailleurs le mistral résulte d'un appel d'air qui se fait sur la mer et non sur la terre, et qu'il se rattache aux vents alizés, dont la cause est générale et lointaine (4). Ces raisons convaincront quelques esprits, mais le vieux grief du déboisement ne sera pas éteint :

(1) Paroles d'Arago rapportées ci-dessus.

(2) *Clavé : Études sur l'économie forestière* (Paris, 1862). — *Le Correspondant* (25 juillet 1869).

(3) *Ch.e Martins : Du Spitzberg au Sahara*, p. 429.

(4) *Schmidt : Grundriss der Meteorologie.*

il renaîtra sans cesse, entretenu par l'inépuisable fonds de la tradition populaire. Chaque fois que la question des forêts sera portée devant l'opinion publique, l'altération du climat fournira le moyen de passionner la discussion. Cet argument cependant est sans valeur scientifique : l'action des forêts sur le climat est locale, non générale; elle est si restreinte et si diverse, que c'est compromettre la cause des forêts, que d'invoquer en leur faveur des théories hésitantes que la moindre observation nouvelle peut faire pencher en sens contraire.

« Eh! quoi, » dira-t-on, « l'opinion générale doit-elle « compter pour rien? Doit-elle céder à l'avis de quelques- « uns? » — A ces questions, un seul exemple répondra. Tous les hommes n'ont-ils pas vu, pendant une infinité de siècles et de toute l'évidence de leurs yeux, le soleil et le ciel tourner autour de la terre immobile? Cependant, Copernic est venu; il a fixé les cieux et lancé la terre dans sa double rotation.

Quelle que soit donc la force du préjugé populaire, disons pour conclure ce chapitre, qu'il sera sage de s'en tenir à ces paroles par lesquelles Gay-Lussac répondait à Arago, devant la Commission d'enquête de 1836 :

« A mon avis, on n'a acquis jusqu'ici aucune preuve « positive que les bois aient, par eux-mêmes, une « influence réelle sur le climat d'une grande contrée ou « d'une localité particulière, et que surtout ils aient une « influence différente de toute espèce de végétation....

« Les questions sont tellement compliquées, quand on « les envisage sous le point de vue climatérique, que la « solution en est très-difficile, pour ne pas dire impos- « sible. »

CHAPITRE III.

LES FORÊTS ET LA PLUIE.

Les eaux que les fleuves portent à la mer, toutes chargées de limon et des impuretés de nos villes, proviennent de la pluie, et la pluie elle-même est de l'eau pure évaporée par le soleil, à la surface des mers, et jetée sur les continents par de puissants courants atmosphériques. C'est une grande et admirable circulation : le soleil est le cœur en même temps que le flambeau du monde ; les fleuves sont les veines, les vents les artères. Ce beau phénomène était compris par les anciens, car déjà mille ans avant notre ère, Salomon a dit : « *Ad locum unde exeunt flumina revertuntur, ut iterum fluant* (1). »

Aristote a consacré un livre aux météores ; il y explique très-nettement la circulation des eaux (2).

Bernard Palissy, artisan de génie, qui se vantait

(1) *Ecclésiaste*, 1, 7.
(2) *Schmidt* : *Grundriss der Meteorologie*, p. 187.

d'être « *destitué de langue latine,* » et dont la science était déduite de la simple nature, expose en ces termes pittoresques, dans son *Traité des fontaines*, une théorie de la pluie à laquelle il n'y a rien à redire :

« Il faut que tu croies fermement que toutes les eaux « qui sont, seront et ont été, sont créées dès le com- « mencement du monde ; et Dieu, ne voulant rien lais- « ser en oisiveté, leur commande aller, venir et pro- « duire ; ce qu'elles font sans cesse. Comme j'ai dit que « la mer ne cesse aller et venir, pareillement les eaux « des pluies qui tombent en hiver remontent en été pour « retourner encore en hiver, et les eaux et la réverbé- « ration du sol et la siccité des vents frappant contre « terre fait élever de grandes quantités d'eau, laquelle « étant rassemblée en l'air et formée en nuées, sont « portées d'un côté et d'autre, comme les hérauts de « Dieu. Et les vents poussant lesdites vapeurs, les eaux « retombent par toutes les parties de la terre, et quand « il plaît à Dieu que ces nuées (qui ne sont qu'un « amas d'eau) se viennent dissoudre, lesdites va- « peurs sont converties en pluies qui tombent sur la « terre... (1). »

Plus tard, la métaphysique s'étant mêlée de la ques- tion, l'a obscurcie suivant sa coutume. Descartes, qui aurait pu remarquer, sur les bords de la Loire, que les grandes eaux viennent après les grandes pluies, enseigne cependant que l'eau des mers remonte à la source des fleuves par des canaux souterrains ; il rappelle à ce pro-

(1) *Annales forestières*, 1862, p. 123.

pos la circulation du sang et assure que si l'eau de source est douce, c'est par l'effet de la filtration.

Au XVIIIe siècle, l'abbé Nollet institua des expériences pour vérifier ce point de physique. En 1786, Deluc essayait d'établir que l'air se change directement en eau (1), et la Société des sciences naturelles de Halle discutait, en 1823, les idées du professeur Keferstein, qui attribuait la formation des sources à une absorption de l'air par la terre (2).

De nos jours, l'abbé Paramelle prend encore la peine de réfuter ces erreurs; il explique qu'il n'existe aucune force capable d'élever, par des canaux souterrains, l'eau de la mer au sommet des montagnes et qu'un filtre de sable ne saurait adoucir l'eau salée (3).

Des notions plus simples et plus nettes sont aujourd'hui répandues. Grâce à d'innombrables observations, l'intéressant phénomène de la pluie commence à être connu, et déjà quelques-unes des lois qui les régissent sont scientifiquement établies. Il ne sera pas inutile pour notre objet de les rappeler ici brièvement.

Lorsque l'air saturé d'humidité vient à se refroidir, la vapeur se condense, puis se précipite sous forme de brouillard ou de rosée et, lorsque le refroidissement est rapide, sous forme de pluie ou de neige. Ce refroidissement ne se produit d'ordinaire que lorsqu'une masse

---

(1) *Schmidt*: *Grundriss der Meteorologie*, p. 187.
(2) *Kaemtz*: *Lehrbuch der Meteorologie*, préface.
(3) *L'abbé Paramelle* : *l'Art de découvrir les sources.*

d'air est transportée vers des régions plus froides par quelque mouvement de l'atmosphère : ainsi l'histoire de la pluie n'est qu'un chapitre de l'histoire des vents.

Tout ce que l'on sait de positif sur la théorie du vent se reproduit, en petit, sous nos yeux, dans une chambre ou, mieux encore, dans une serre vitrée, au milieu de laquelle un poêle est allumé (1). Au contact du poêle, l'air s'échauffe et, devenu plus léger par la dilatation, s'élève vers le plafond. Ce courant ascendant est quelquefois si rapide, qu'il se révèle aux yeux par une ondulation transparente. L'air chaud, incessamment poussé par le courant ascendant, s'étale d'abord à la partie supérieure, puis il s'éloigne du foyer et, cheminant dans toutes les directions contre le plafond, il se refroidit peu à peu. Parvenu vers les extrémités de la pièce, il retombe, et de nouveau se dirige du côté du poêle, où l'appelle le vide produit par le courant ascendant.

Une circulation analogue s'établit dans l'atmosphère autour de la terre. Sur la zone équatoriale, incessamment frappée par les rayons solaires, l'air s'échauffe, s'élève, et de l'équateur, se dirige vers les pôles en s'inclinant du côté où l'entraîne la rotation terrestre, c'est-à-dire vers l'est; puis il se refroidit, retombe, et revient à l'équateur par une marche oblique vers l'ouest.

Ainsi règnent, dans chaque hémisphère, deux cou-

---

(1) *Jamin : le Vent et la Pluie* (*Revue des Deux-Mondes*, 1867, 1, 920).

rants principaux, le supérieur et l'inférieur; le premier, *équatorial*, chaud et humide; le second, *polaire*, froid et dépouillé de son humidité par la condensation. Dans notre hémisphère, le courant chaud et humide vient du sud–ouest, le courant froid et sec souffle du nord–est.

Mais, en réalité, le phénomène n'est pas aussi simple. Dans la pièce échauffée, c'est seulement près du foyer que les courants sont nettement dessinés; dans les coins éloignés, il se forme des remous, des contre–courants, des tourbillons et des calmes. Il en est de même dans l'atmosphère. Si les continents et les mers étaient symétriquement distribués dans chaque hémisphère; si le soleil, immobile au–dessus de l'équateur, partageait également, pour toute la terre, les jours et les nuits, les mouvements de l'atmosphère présenteraient sans doute une grande régularité. Mais le soleil se déplace; passant d'un hémisphère dans l'autre, il abanbonne tour à tour chaque pôle aux horreurs d'une nuit de six mois. Ces alternatives troublent profondément l'atmosphère, et l'on comprend que, par suite de sa mobilité et de l'irrégularité du globe, l'équilibre une fois rompu ne saurait se rétablir.

C'est seulement vers les tropiques que l'on rencontre des vents réguliers; ce sont les courants frais qui descendent des pôles en obliquant vers l'ouest, et qu'on appelle *vents alizés*. Sur l'équateur même, ces courants tantôt se combinent pour former un vent continu de l'est vers l'ouest; tantôt ils s'équilibrent et produisent ces calmes si redoutés des navigateurs. De même, dans

l'Inde, les *moussons* sont des vents périodiques d'une grande régularité. Au contraire, l'Europe et les régions polaires paraissent soumises à tous les caprices d'Éole.

A Paris, mille observations du vent se répartissent d'après les nombres suivants, entre les huit points du compas (1).

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
127	106	64	55	173	181	190	94

Si l'on compose ces éléments, on trouve que leur résultante, c'est-à-dire le vent régnant de Paris, souffle du S—68° O. Cette résultante qui domine, au milieu de l'instabilité des vents, n'est autre que le courant chaud et humide qui, de l'équateur, chemine vers le pôle en obliquant vers l'est. La direction de ce courant est d'ailleurs variable avec les saisons. Le vent qui règne à Paris pendant chacun des mois de l'année souffle des aires suivantes (2) :

Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.
S, 66° O	S, 48° O	N, 59° O	N, 49° O	S, 61° O	N, 60° O
Juillet.	**Août.**	**Septembre.**	**Octobre.**	**Novembre.**	**Décembre.**
N, 86° O	S, 80° O	S, 68° O	S, 24° O	S, 52° O	S, 39° O

(1) *Kaemtz :* t. I, p. 222.
(2) *Id.* t. I, p. 243.

On voit que, par une heureuse circonstance à laquelle la France doit la douceur relative de son climat, le vent frais du nord tempère les ardeurs de l'été, et le vent chaud du sud les rigueurs de l'hiver.

Notons encore que les changements de direction ne sont pas complétement arbitraires. Les vents tournent habituellement dans le même sens que le soleil; ils passent, le plus souvent, de l'ouest à l'est par le nord et de l'est à l'ouest par le sud. C'est encore là un effet de la rotation terrestre.

La marche de la pluie est conforme à celle des vents. Entre les tropiques, la pluie est un phénomène d'une régularité véritablement astronomique. Il pleut quand le soleil est au zénith; aussi, le soleil traversant deux fois par an l'équateur, les régions voisines ont deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. Plus au nord ou plus au sud, il n'y a qu'une alternative : la saison des pluies ou *hivernage* et la saison sèche.

Le soleil se lève dans un ciel pur, il aspire d'abondantes vapeurs qui montent dans les régions froides de l'atmosphère; des nuages épais se forment rapidement; la pluie tombe avec violence accompagnée de grands éclats de tonnerre; vers le soir, le soleil reparaît dans le ciel rasséréné. L'heure qui marque le commencement ou la fin de l'orage varie, d'un jour à l'autre, avec la marche du zodiaque. Telles sont, sauf les cir-

constances locales, les lois générales de la pluie, sous les tropiques.

Les hautes latitudes et particulièrement l'Europe septentrionale n'ont pas de saison sans pluie : à Paris, par exemple, il pleut dans tous les mois de l'année. Mais ici encore une loi se dessine : les côtes reçoivent leur *maximum* de pluie pendant l'hiver et les continents pendant l'été. Il est facile de s'expliquer ce résultat.

Lorsque le vent régnant du sud-ouest, le courant *équatorial*, tout chargé des vapeurs tièdes du *Gulfstream*, aborde les côtes de France, il les trouve en été plus chaudes que lui, il passe. et, loin de déposer son humidité, il en aspire de nouvelle qu'il va jeter sur les plaines plus froides de l'Allemagne et de la Russie, jusqu'à ce qu'il arrive épuisé en Sibérie. En hiver, au contraire, nos côtes sont plus froides que le vent de mer; dès qu'il souffle, elles sont arrosées de pluie.

Ainsi, les contrées orientales ont moins de jours pluvieux, elles reçoivent moins de pluie que nos régions de l'occident; elles recueillent leur *maximum* en été, tandis qu'au bord de la mer, ce *maximum* tombe en automne et en hiver.

Le tableau suivant justifie assez bien ces conclusions (1).

---

(1) *Kaemtz*, t. I, p. 443.

RÉGIONS.	Nombre de jours pluvieux.	Hauteur de pluie annuelle.	PROPORTIONS des jours pluvieux suivant les saisons.			
			Hiver.	Printemps.	Été.	Automne.
		millim.				
Angleterre (Penzance). . .	164	960	29.9	22.6	20.5	27.0
France (Paris).	159.7	550	23.8	24.3	25.4	26.4
Allemagne (Erfurt). . . .	131	330	23.6	24.0	27.7	24.7
Hongrie (Pesth).	111.7	418	25.9	26.9	23.6	23.7
Russie (Kazan).	90	»	27.5	25.1	19.7	27.7
Sibérie (Nertschinsk). . .	59.7	» (1)	8.4	28.9	43.0	19.7

(1) La quantité d'eau qui tombe en Sibérie est peu connue. D'après Kaemtz, elle mouille à peine la terre : Schmidt dit qu'en certaines localités, elle ne dépasse pas 25 millimètres.

Les obstacles opposés au vent ont, sur le phénomène de la pluie, une influence majeure et sur laquelle il importe de nous arrêter ici.

Lorsque le vent pluvial rencontre une éminence qui l'oblige à s'élever, un double effet se produit : l'ascension de l'air amène par elle-même un refroidissement et, par suite, une condensation de vapeur ; mais, en outre, le courant atmosphérique détourné de sa direction subit un frottement contre la surface refroidie de la terre et la pluie est, comme on l'a dit, *mécaniquement exprimée des nuages*. Pour ces raisons, il pleut davantage sur les caps que sur les côtes ouvertes ; mais, dans les *fiords* profonds de la Norwége, le vent pluvial, brus-

quement arrêté par une muraille de rocher, dépose un maximum de pluie.

Il tombe annuellement à Bergen 2 mètres de pluie; à Bordeaux seulement 719 millimètres; à Nantes, 1 mètre, à Cherbourg 830 millimètres.

Sur le littoral de la Méditerranée, le vent pluvial souffle de l'est ou du sud-est, perpendiculairement à la muraille des Cévennes qui sont assaillies par de violentes averses (1). Il tombe annuellement à Marseille 512 millimètres de pluie; à Toulon, 505; à Nîmes, 640; à Montpellier, 770; à Viviers, au pied des montagnes, 900; à Joyeuse, au fond d'une vallée, 1.300 millimètres.

La région du Jura est caractérisée par les chiffres suivants : Lyon, 776 millimètres; Mâcon, 876; Bourg, 1^{m}.172; Syam (dans les gorges) 1^{m}.630.

C'est à tort que certains auteurs ont cru pouvoir conclure de ces chiffres, ou d'autres analogues, que la hauteur de pluie recueillie, en un lieu, croît avec l'altitude de ce lieu. Ainsi formulée, la loi n'est pas exacte et ne pourrait s'expliquer. Le phénomène est mécanique autant que physique; il est plus intelligible sous la formule suivante : *La tranche pluviale est d'autant plus épaisse que le courant atmosphérique, arrêté par un*

(1) Voir ci-après, au chapitre V, quelques détails sur les pluies de l'Ardèche.

obstacle, est forcé de s'élever plus rapidement. Ce n'est donc pas l'altitude de lieu qui importe le plus, c'est l'*incidence* suivant laquelle le vent pluvial frappe le revers qui l'arrête ; mais cette loi de l'*incidence* n'est pas facile à déterminer.

Ainsi, pour comparer deux pluviomètres, il faut tenir compte de leur altitude absolue et, en outre, de la pente et de la configuration des versants qui les supportent. Le tableau suivant, où sont réunies plusieurs localités situées dans les gorges du Jura, montre que l'altitude n'est pas l'élément dominant, car le maximun de pluie est loin de correspondre au maximum d'élévation (1).

LOCALITÉS.	ALTITUDE.	HAUTEUR de pluie.
	mètres.	millimètres.
Pierrechâtel.	161	1260
Varambon.	233	1111.8
Saint-Rambert.	310	1592
Syam.	365	1741
Saint-Claude.	444	1457.7
Pontarlier.	840	970
Fort-de-Joux.	1001	1176.7
Saint-Cergues.	1045	1560

Au couvent du grand Saint-Bernard (*altitude*

(1) *L'Eveillé*: *Recherches sur les inondations* (*Annales de la Société d'agriculture de Lyon*, 1858).

2620 *mètres*), on recueille annuellement 1500^{mm} d'eau. Si le pluviomètre le plus élevé de l'Europe est en même temps l'un des plus riches, la cause en est peut-être moins à son altitude qu'à sa position topographique. L'instrument est placé dans une étroite embrasure dominée par les glaces et dans laquelle les vents, de quelque côté qu'ils viennent, doivent passer avec violence et se refroidir brusquement.

L'obstacle franchi, la pluie diminue, le courant retombe et se réchauffe; avide de réparer ses pertes, il dévore les nuages et dessèche le versant opposé.

Du sommet élevé d'une montagne au-dessus de laquelle, dans un ciel pur, brille le soleil, on aperçoit quelquefois, sous ses pieds, une marée de nuages qui monte sur l'un des versants; elle pousse dans toutes les anfractuosités des gorges ses vagues mobiles, assaillant et surmontant les contre-forts qui l'arrêtent, tout comme l'Océan couvre d'écume la tête noire des récifs. Par tous les cols, par toutes les dépressions de la chaîne, les flots nuageux se pressent et s'épanchent sur le versant opposé : les plus hauts sommets émergent seuls au-dessus de l'inondation; mais, vers l'aval, les nuages semblent tomber dans un vide insondable; ils disparaissent et l'un des versants, doré par le soleil, fait un riant contraste avec l'autre qui, trempé par l'orage, est enseveli sous un voile épais. La pluie alors est invisible pour l'observateur, mais il la reconnaît plus tard, lorsque dans sa descente il pénètre dans les nuages, ou même, si l'o-

rage est dissipé, lorsqu'il trouve sur sa route tous les ruisseaux débordés.

Lorsqu'on domine ainsi les nuages, on peut voir le courant atmosphérique obéir aux lois de l'hydraulique. Il a ses rapides et ses remous ; il s'acharne contre les saillies ; mais, lorsqu'il est contenu entre des berges régulières, il se presse contre la rive concave et délaisse la rive convexe. Il n'est pas douteux que toutes ces circonstances ne fussent indiquées par des pluviomètres, s'il était possible d'en placer un grand nombre dans une gorge de montagne.

Le relief d'un pays a donc une influence capitale sur le phénomène de la pluie. Voici, à ce sujet, quelques exemples bien connus :

De chaque côté des Alpes scandinaves, les vents d'ouest et d'est donnent inversement l'un la pluie. l'autre le beau temps à la Norwége ou à la Suède.

Quand il pleut à Narbonne, le soleil brille à Montauban.

La pluie vient de l'ouest en Suisse et de l'est en Lombardie.

C'est parce qu'elle est abritée contre les vents de sud et de sud-est, qui arrosent le bassin du Rhône, que la vallée de la Durance présente ce climat exceptionnellement sec que M. Surell signale comme favorable au développement des torrents (1). Il pleut en moyenne à Mar-

(1) *Surell*, chap. XXI.

seille 57 jours par an ; à Arles 45 jours, à Aix 40 ; dans la région de la Durance 38 jours seulement (1).

Sous les tropiques, où règnent les alizés qui soufflent de l'est, les terres qui penchent vers l'orient sont inondées d'averses torrentielles : exemples, la côte de Mozambique et le bassin de l'Amazone. Au contraire, il ne pleut presque jamais sur le versant occidental des Andes : à Lima, le tonnerre ne s'est, dit-on, pas fait entendre trois fois en trois siècles (2).

Dans la presqu'île indienne, la côte orientale ou de Coromandel est arrosée par la mousson du nord-est et la côte occidentale ou Malabare par la mousson de sud-ouest (3).

Lorsque, après avoir gravi le revers d'une montagne, le courant atmosphérique abondamment déchargé rencontre un plateau, il s'y étend librement ; mais ses couches inférieures, étant seules en contact avec la terre, se refroidissent seules et, par le même vent, le plateau, quoique plus élevé, recevra moins d'eau que le versant d'amont, tandis qu'il en recevra plus que le versant d'aval.

---

(1) *Arago* : *Mélanges*, p. 430. — Voyez à la fin du volume la note A où sont rapportées quelques observations pluviométriques récentes.

(2) *Renou* : *Théorie de la pluie* (*Annuaire de la Société météorologique de France* (1866), t. XIV.)

(3) *Lamairesse* (*Annales des ponts et chaussées*, octobre 1869).

Le faîte qui sépare l'Océan de la Méditerrannée, donne lieu au tableau suivant (1) :

RÉGIONS.	ALTITUDE.	HAUTEUR de pluie.
	mètres.	millimètres.
Versant ouest (Toulouse).	148.50	632.7
Faîte (Castelnaudary)	170	630
Versant est (Carcassonne).	113	757.3

On voit par ce tableau que les versants reçoivent un peu plus d'eau que le faîte, et si l'on se rappelle que le faîte reçoit de la pluie tantôt par le vent d'est et tantôt par le vent d'ouest, tandis que Carcassonne, par exemple, n'en reçoit jamais que par le vent d'est, on ne saurait douter que, pour un même vent, le faîte ne reçoive moins d'eau que celui des deux versants qui est remonté par le courant pluvial.

Les plateaux de la Beauce et de la Brie, soumis à la seule influence du vent d'ouest, présentent un minimum très-apparent sur l'intéressante carte hyétographique dressée par M. Delesse, ingénieur en chef des mines (2). Il tombe à Chartres 540 millimètres, à Meaux, 400 millimètres de pluie annuelle.

---

(1) *Raulin* : *Observations pluviométriques.* (Bordeaux, Chaumas.)

(2) *Delesse* : *Distribution de la pluie en France* (*Bulletin de la société de géographie*, août 1868).

La Bourgogne forme, comme on sait, un bassin qui s'allonge, du nord au sud, entre les massifs du Forez et du Jura. Ce bassin, est pris en travers par le vent d'ouest, qui distribue la pluie de manière à mettre nettement en évidence l'influence du relief (1).

RÉGIONS.	OBSERVATIONS MOYENNES pour chaque région.		OBSERVATIONS.
	Altitude.	Pluie annuelle.	
	mètres.	millim.	
Revers du Forez parcouru en descendant par le vent pluvial.	440	764.5	3 stations.
Fond de la vallée. Rive droite de la Saône.	252	695.7	5 —
Fond de la vallée. Rive gauche de la Saône.	234	730.1	6 —
Région voisine du pied du Jura parcourue en remontant par le vent pluvial. .	301	1087.8	5 —
Gorges du Jura où le courant pluvial est resserré. .	549	1358	8 —

On voit encore très-clairement par ce tableau que le vent pluvial produit des effets bien différents, suivant qu'il descend une pente ou remonte une rampe. Lorsqu'il descend, il donne des quantités de pluie presque égales aux altitudes très-différentes 440 et 252, tandis que lorsqu'il remonte, il lui suffit de passer de la côte 234 à la côte 301 pour que la tranche pluviale s'accroisse de 50 p. 100. Pendant la descente, il tombe moins d'eau à la

(1) *L'Eveillé : Recherches, etc.*

côte 252 que pendant la montée à la côte inférieure 234; il tombe deux fois plus d'eau sur la rampe à la côte 549 mètres, que sur la pente à la côte 440 mètres, quoique la différence entre les deux altitudes dépasse à peine 100 mètres.

Le relief du terrain agit encore d'une autre manière sur la distribution de la pluie : l'altitude modifie la proportion de pluie qui tombe en chaque saison et, sous ce rapport, l'élévation au-dessus de la mer a la même influence que l'éloignement des côtes. Le maximum de pluie tombe, pendant l'été, sur les lieux élevés ou éloignés de la mer et, pendant l'hiver, sur les lieux bas ou rapprochés des côtes.

Mais c'est surtout lorsqu'on le suit parmi les ramifications d'une même vallée, que le phénomène de la pluie paraît intéressant. Le bassin de la Seine est, plus que tout autre, favorable à cette étude parce qu'il est régulier de forme, largement ouvert au vent pluvial et surtout parce que M. Belgrand, qui l'a si complétement exploré, nous a fait connaître ses savantes recherches (1).

Près de la mer, au phare de Fatouville, il tombe annuellement 799^{mm}2 de pluie. De ce point jusqu'à la vallée d'Oise, le plateau conserve sensiblement son niveau; par suite, la quantité d'eau diminue à mesure que le courant pluvial s'éloigne de la mer. La moyenne

(1) *Belgrand : Régime de la plue dans le bassin de la Seine,* (*Annales des Ponts-et-Chaussées*, 1865).

s'abaisse à 580^{mm} dans la vallée d'Oise; à 575^{mm} 6 dans Paris; mais elle remonte dès que le terrain lui-même se relève : elle atteint 656^{mm} à Hirson, vers les Ardennes (*alt.* 196 *mètres*), et 1570^{mm} aux Settons, sur les hauteurs du Morvan (*alt.* 596 *mètres*).

On remarque qu'il pleut dans les vallées plus que sur les plaines élevées, parce que le courant atmosphérique suit de préférence les dépressions profondes qui découpent les plateaux, de même que, sur le plat-fond d'une vallée nivelée par l'inondation, le courant, par ses vagues tumultueuses, dessine encore la ligne de l'ancien thalweg.

M. Belgrand constate encore que le courant pluvial ne remonte pas indifféremment toutes les vallées; il évite la vallée d'Oise et s'élève de préférence par la vallée de la Seine et par celle de l'Yonne qui, en amont de Montereau, prolonge exactement la première.

A Paris même, la butte Montmartre divise ce courant, qui se bifurque comme une rivière autour d'une pile de pont; le vent pluvial passe de préférence derrière la butte, et la Villette reçoit plus d'eau que Paris. Ainsi, chaque vallée reçoit d'autant plus d'eau qu'elle est mieux orientée vers le courant atmosphérique qui apporte la pluie.

Voici encore une autre loi intéressante. Dans une même vallée, les quantités de pluie qui tombent entre deux points A et B, même très-voisins, sont quelquefois très-différentes; elles diffèrent d'autant plus que l'on considère une période de temps moins longue. A Paris,

par exemple, d'un quartier à l'autre, les quantités diffèrent d'un cinquième pour une année, et du simple au double pour une averse d'orage. Mais le rapport de ces quantités tend à rester constant d'une année à l'autre pour deux lieux voisins.

Si l'on désigne par a_1 et b_1 les hauteurs de pluie recueillie aux lieux A et B, pendant la première année, par a_2 et b_2 ces mêmes quantités pour la seconde année, etc...., les observations démontrent que l'on a sensiblement $\frac{a_1}{b_1} = \frac{a_2}{b_2} = \frac{a_3}{b_3}$, etc.....

Par cet ensemble de faits, nous devons reconnaître, dans chaque vallée, deux courants superposés et de sens contraires : l'un qui la remonte et porte les eaux de la mer aux montagnes; l'autre qui la descend et ramène les eaux à la mer : celui-ci est liquide, fluvial, neptunien; l'autre est gazeux, pluvial, éolien. C'est la chaleur solaire qui anime le premier, le second cède à la pesanteur.

Pris ainsi dans son ensemble, le phénomène de la pluie nous paraît en même temps régi par les lois les plus générales de l'astronomie et troublé par les circonstances locales les plus particulières : il a son régime régulier et ce que l'on est tenté d'appeler ses *caprices* (1). Mais la nature n'a pas de caprices, et ce mot désigne seulement les effets délicats qui échappent encore à nos investigations.

---

(1) *Belgrand.*

La théorie de la pluie a sans doute de grands progrès à faire (1). Cependant dès aujourd'hui, et malgré ses lacunes, la théorie de la pluie, telle qu'elle résulte d'observations prolongées avec patience sur un grand nombre de points, a déjà singulièrement modifié les idées qu'on se faisait autrefois de ce phénomène, auquel on n'accordait souvent qu'un caractère purement local et accidentel. Grâce à la rapidité des communications, la météorologie a pu suivre et même devancer la tempête, dans sa course furieuse. On sait aujourd'hui que les perturbations de l'atmosphère sont de véritables cyclones, plus ou moins violents, plus ou moins étendus, mais qui, tous, obéissent aux mêmes lois. Dans l'hémisphère nord, leur mouvement gyratoire s'effectue en sens inverse des aiguilles d'une montre et leur translation a lieu de l'ouest à l'est, de l'Amérique vers l'Europe, suivant une route moyenne dont ils s'écartent peu, soit vers le nord, soit vers le sud. L'Angleterre est sur cette route moyenne, et c'est pourquoi ses côtes sont plus éprouvées que celles de la France.

Les premiers hommes considéraient la tempête comme un châtiment céleste fondant à l'improviste sur quelque localité coupable. Pour nous, c'est un phénomène normal, régulier, presque continu; ces bourrasques, fortes ou faibles, se succèdent sans trêve : à peine la première s'est-elle perdue dans les profondeurs de l'Orient que, déjà, sur les côtes d'Irlande, le baromètre signale l'approche de la suivante, et, par un merveil-

(1) Voir la note B à la fin du volume.

leux exemple de l'appui que se prêtent mutuellement la science et l'industrie, c'est par des observations faites ce matin à New-York ou à la Nouvelle-Orléans et connues ce soir en Europe, qu'on cherche à prévoir le temps qu'il fera demain à Paris ou à Londres.

De même que, sur une rivière, on peut suivre de proche en proche une crue semblable à une onde qui se propage, de même on a pu observer ces ondes atmosphériques, véritables débordements du courant pluvial, qui inondent la terre.

Voici, par exemple, sur le météore aqueux qui a assailli l'Europe, en septembre 1866, quelques données recueillies par M. Belgrand (1). Ce n'est pas dans les limites étroites du bassin de la Seine, c'est en Amérique, sur une ligne qui s'étend de Buenos-Ayres au pôle nord, que la tempête prend naissance : elle traverse l'Atlantique, aborde l'Angleterre, le 20 septembre; la France, la Belgique, la Hollande, le 21. Le 22, elle règne à la fois sur la Norwége et sur Paris. Le 23, elle sévit aux sources de la Seine et de la Loire et s'étend jusqu'à la Garonne. Le 24, elle passe au-dessus de Lyon; sa fureur se déchaîne, du 24 au 26, sur le Saint-Bernard; du 25 au 27, sur le Simplon. Sur tous les lieux élevés, elle précipite en trois jours une quantité d'eau qui approche du cinquième de la moyenne annuelle.

Au contraire, les plaines basses sont presque partout épargnées; l'Angleterre et la Normandie ne reçoivent

(1) *Belgrand, Annales des Ponts-et-Chaussées* (septembre 1868).

pas un vingtième de la pluie annuelle. Abritées par l'arête montueuse qui traverse obliquement la France des Vosges aux Pyrénées et partage les eaux entre l'Océan et la Méditerranée, Carcassonne, Montpellier, Grenoble, Lyon, Bourg, Besançon ne reçoivent pas de pluie extraordinaire; il ne pleut pas du tout à Strasbourg, à Dresde, à Munich, à Breslau, non plus qu'en Autriche ou en Italie. En Suisse et même en Savoie, la pluie est peu importante, tandis que le Mont-Blanc, le Simplon, le Saint-Bernard, reçoivent 17 p. 100 de la pluie annuelle. On est ainsi conduit à se figurer cette tempête comme un puissant météore qui, déployant à 500 mètres au-dessus des mers une envergure de deux mille kilomètres, effleure les hauts plateaux de la France et, par un vol de deux cents lieues par jour, va se briser contre les sommets des Alpes.

Et maintenant que ces grandes conceptions de la pluie nous sont familières, quelle influence pourrons-nous attribuer aux forêts sur un phénomène dont la généralité embrasse quelquefois les deux hémisphères? M. E. Renou, répond en ces termes (1) :

« Quand on voit la pluie ne dépendre, dans son prin-
« cipe, que des grands mouvements de l'atmosphère et
« ne se modifier que par les principaux accidents du sol,
« montagnes et mers, on se demande quelle influence
« peuvent avoir sur ce phénomène les cultures des

(1) *E. Renou : Théorie de la pluie* (*Annuaire de la société météorologique de France*, t. XIV, p. 89 1866).

« hommes et surtout les forêts. Une opinion générale « leur attribue une part notable, dans la distribution des « eaux météoriques, mais cette opinion purement théo- « rique ne repose absolument sur rien : on n'a jamais « cité une seule observation incontestable à son appui, « et si, dans certaines contrées, comme l'Algérie, il pleut « plus sur les forêts que dans les régions déboisées, en « leur attribuant une influence sur la pluie, on a con- « fondu la cause avec l'effet. La pluie suit d'une ma- « nière frappante le relief du sol, et les forêts ne viennent « spontanément que là où il pleut suffisamment. Ces « considérations sont applicables aux cas analogues cités « par M. Boussingault pour l'Amérique. C'est précisé- « ment au contact des régions nues et des régions boi- « sées, près des limites de la végétation naturelle des « bois, que ces remarques peuvent se faire : ces forêts, « ne recevant généralement pas assez de pluie pour « croître partout, ne se présenteront que là où la dispo- « sition des montagnes permet au sol de recevoir la plus « grande quantité d'eau.

« Les cartes des orages et des grêles n'indiquent pas « la moindre déviation au voisinage des forêts; la cé- « lèbre grêle du 13 juin 1788 l'a montré il y a bien « longtemps; elle a suivi une ligne presque droite, abso- « lument indépendante de ce que présentait le sol au- « dessous d'elle (1).

---

(1) Sur des cartes qui ont été publiées par l'Académie, M. Becquerel a figuré la marche de certains orages. Quelques personnes ont cru pouvoir conclure, d'après ces cartes, que les orages évitent

« L'opinion de l'influence des forêts sur la pluie est « comme tous les préjugés : on la répète depuis un temps « considérable, sans en avoir la moindre preuve. « Dans mon opinion, l'homme n'a pas la plus lé- « gère influence sur les phénomènes naturels. Autre- « fois, on a voulu rattacher les phénomènes météoro- « logiques à des influences locales dominantes ; mais, « à mesure que les études s'étendent, on reconnaît la « grandeur et la généralité des phénomènes de l'at- « mosphère. »

« Mais, » — dira-t-on, — « si la pluie a des caprices, si le moindre relief du sol dévie le courant pluvial, comment un massif boisé qui s'élève dans la plaine resterait-il sans influence ? » — Réduite à ces termes, l'action

---

les forêts. Mais on a fait observer que ces cartes étant dressées d'après le témoignage des populations et des compagnies d'assurances, l'abondance des documents constatant les dégâts causés par la grêle n'est pas nécessairement en raison directe de la fréquence et de la violence des orages : elle dépend surtout de la densité des populations et de la richesse des récoltes. Si les régions boisées ne fournissent pas de documents pour la statistique des orages, c'est que, dans les forêts, il n'y a ni dégâts notables ni habitants pour les constater.

Le département de la Gironde fournit un exemple frappant à l'appui de cette explication. D'après la carte des orages de ce département (*Atlas météorologique*, 1868), la grêle tomberait de préférence sur les bords de la Garonne ou dans le riche canton qui s'étend entre elle et la Dordogne, mais particulièrement sur les lieux habités : au contraire, les landes désertes seraient complétement épargnées par la grêle.

Il est bien connu cependant que les landes sont traversées par de violents orages ; mais les bergers landais n'envoient pas de bulletins à l'Observatoire.

des forêts sur la pluie ne paraît pas contestable. Il pourrait arriver, par exemple, qu'un rideau d'arbres venant à barrer un vallon peu profond, interceptât le courant pluvial et diminuât notablement la quantité d'eau reçue dans un pluviomètre placé derrière. La ville d'Erfurt, par exemple, protégée contre le vent d'ouest par la forêt de Thuringe, reçoit moins d'eau que les régions voisines (1). Il n'est même pas besoin de considérer une haute futaie; un simple mur convenablement orienté suffit : chacun sait que la face exposée au vent pluvial reçoit plus d'eau que la face abritée; mais ce qui est arrêté en plus d'un côté tombe en moins de l'autre. L'observation démontre qu'il suffit d'élever des constructions dans le voisinage d'un pluviomètre pour en altérer le produit; ces constructions changent-elles le climat du lieu ?

M. Mathieu, sous-directeur de l'École forestière de Nancy, a institué des expériences pour constater directement s'il pleut davantage sur les régions boisées ou sur le terrain découvert. Voici comment M. Mathieu résume ses observations dans un rapport adressée à la ***Direction générale des forêts :***

« En 1868, il est tombé plus d'eau sur sol découvert,
« en pleine région forestière, que sur les bords de celle-
« ci; c'est en contrée agricole que la quantité en a été le
« plus faible. Ce résultat concorde parfaitement avec
« celui des années antérieures et tend de plus en plus à

(1) *Kaemtz.*

« s'ériger en loi. Le tableau suivant est destiné à faire « ressortir cette circonstance. »

ÉPOQUES des OBSERVATIONS.	ÉPAISSEUR DE LA LAME D'EAU reçue par le sol.		
	Cinq-Tranchées Centre de la région forestière.	*Belle-Fontaine.* Bord de la région forestière.	*Amance.* Région agricole.
	millimètres.	millimètres.	millimètres.
9 derniers mois de 1866	691	(Pas d'observ.)	591
11 derniers mois de 1867	762	716	695
12 mois de 1868	749	738	631

« Si l'on représente par 1,000 la quantité d'eau « tombée, chaque année, aux *Cinq-Tranchées*, on trouve « pour les trois années d'observation les relations qui « suivent :

1866.	1,000	»	855
1867.	1,000	936	913
1868.	1,000	985	791

D'après ce que nous avons vu plus haut des caprices de la pluie et des variations qu'elle présente, d'un quartier à l'autre d'une même ville, il faut reconnaître que les expériences de M. Mathieu, tout en fournissant un argument en faveur d'une action des forêts sur le phénomène de la pluie, ne sont pas complétement démonstratives. Comment s'assurer que les forêts n'ont pas agi tout simplement comme un obstacle au vent pluvial?

Si, par exemple, la région agricole s'étend sur un plateau horizontal tandis que la région forestière s'élève sur un revers remonté par le vent pluvial, les pluviomètres placés dans ces deux régions ne sont nullement comparables.

Pour que les expériences fussent concluantes, il faudrait que, renouvelées sur un grand nombre de points, elles fussent toujours concordantes. Mais cette concordance ne se rencontre pas.

M. Belgrand, comparant le régime pluvial du bassin de la *Grenetière* (boisé), avec celui du *Bouchat* (non boisé), a constaté que le premier reçoit moins d'eau que le second, et, dans ce cas encore, la disposition des versants exerce une action prépondérante et qui masque celle des forêts. (*Voir plus loin, chap. V.*)

Certains auteurs, pour démontrer l'action des forêts sur le phénomène de la pluie, ont cru pouvoir établir que le déboisement ou le reboisement d'une contrée modifie le régime de la pluie. La pluie a augmenté à Viviers, suivant les uns, par le *déboisement* des Cévennes, à Bordeaux, suivant les autres, par le *reboisement* des Landes.

Si des faits de ce genre étaient nettement établis, ils seraient sans réplique; mais, avant de les admettre, nous devons rechercher, dans les archives de la pluie, si l'une au moins de ces deux assertions contradictoires a quelque valeur.

En France, la plus ancienne série pluviométrique est celle de l'Observatoire. Elle fut commencée, en 1689,

par Philippe de la Hire, sur l'ordre exprès donné par Colbert à l'Académie, en vue des travaux de Versailles, de mesurer la quantité d'eau que la pluie, tombant sur les plaines d'alentour, pourrait fournir aux réservoirs projetés.

Plusieurs fois interrompue et reprise, cette série est résumée dans le tableau suivant extrait d'un très-riche recueil d'observations pluviométriques publiées par M. Raulin, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Bordeaux (1).

---

(1) *Bordeaux, Chaumas* (1864).

Tableau des hauteurs moyennes de pluie annuelle tombée, par périodes décennales, dans le pluviomètre placé sur la terrasse de l'observatoire à Paris.

PÉRIODES.	Nombre d'années.	HAUTEURS de pluie.	DIFFÉRENCES	NOMS des OBSERVATEURS.
		millim.	millimètres.	
1688 à 1700	10	517.0	»	Lahire, 1688 à 1718.
1701 1710	10	480.6	— 36.4	
1711 1720	10	464.9	— 15.7	Maraldi, Grandjean de Fouchy, 1769 à 1754
1721 1730	10	378.3	— 86.6	
1731 1740	10	411.0	+ 32.7	
1741 1750	10	425.5	+ 14.5	
1773 1780	8	539.6	+114.1	Jeaurat, Alex. Bouvard, 1773 à 1798
1781 1790	10	506.9	— 32.7	
1791 1798	8	413.7	— 93.2	
1804 1810	7	518.3	+104.6	Bonvard, Arago, Le Verrier.
1811 1820	10	496.5	— 21.8	
1821 1830	10	498.6	+ 2.1	
1831 1840	10	509.3	+ 10.7	
1841 1850	10	529.3	+ 20.0	
1851 1860	10	520.3	— 9.0	

La colonne des différences montre que la variation n'obéit à aucune loi de continuité. Cette longue série d'observations est partagée en trois périodes qui donnent respectivement pour la moyenne annuelle :

	millimètres.
Pendant 65 années de 1688 à 1754. . .	448.6
» 26 » de 1773 à 1798. . .	489.6
» 57 » de 1803 à 1860. . .	512.0

Plusieurs auteurs invoquent ces chiffres pour prouver qu'il pleut à Paris plus qu'autrefois ; mais on leur oppose les considérations suivantes. En fait d'observations pluviométriques, toutes les erreurs que l'on fait sont en moins, car on ne peut que perdre de l'eau par évaporation, infiltration, fuite, oubli, etc. Les premiers observateurs n'attachaient, sans doute, pas un grand intérêt à ces mesures qui, faute de comparaison avec d'autres analogues, ne pouvaient conduire à aucune généralisation.

Ainsi le Père Cotte, cité par M. Raulin, s'exprime ainsi (1804)... « Je ferai observer que l'udomètre dont « on se servait à l'Observatoire de Paris a été reconnu « si défectueux qu'on a été obligé d'y renoncer depuis « plusieurs années : on vient d'en établir un nouveau « qui est bien plus exact. L'eau de pluie est reçue et « mesurée sur la plate-forme du bâtiment (à 27 mètres « au-dessus du sol), au lieu qu'on la mesurait aupa- « ravant dans un des cabinets du premier étage, de « manière qu'elle parcourait un tuyau de 63 pieds « pour venir, de la plate-forme où elle était reçue, au « réservoir ; ce qui occasionnait nécessairement de la « perte. »

Pour ces différentes causes, la série de 1688 à 1754 n'est probablement pas comparable à celle de 1803 à 1860, et peut-être que si, à ces deux époques, des instruments identiques avaient été confiés à des observateurs également pénétrés de l'intérêt de ces recherches, la dernière série aurait accusé une diminution au lieu d'une augmentation.

Arago disait à ce sujet en 1853 (1) : « Il n'y a aucune « raison de supposer que le climat de Paris soit main- « tenant plus ou moins pluvieux qu'il ne l'était il y a « 150 ans. La petite augmentation que les nombres « présentent, dans les derniers groupes, ne surpasse « pas, en effet, les écarts que l'on remarque dans les « périodes antérieures. »

On sait qu'en 1817, un second udomètre fut placé sur le sol de la cour et que, depuis cette époque, il a constamment recueilli des quantités d'eau un peu supérieures à celles de son collègue de la terrasse, ainsi qu'on en peut juger par les chiffres ci-après :

PÉRIODES.	HAUTEUR D'EAU ANNUELLE recueillie		RAPPORT $\frac{b}{a}$
	sur la terrasse a	sur le sol b	
	millimètres.	millimètres.	
1821 à 1830	498.6	551.9	1.10
1831 1840	509.3	584.8	1.14
1841 1850	529.3	627.8	1.18
1851 1860	520.3	577.1	1.10

On a cru longtemps que cette différence tenait à ce que les gouttes de pluie s'accroissaient pendant leur chute ; on s'accorde aujourd'hui pour attribuer l'infériorité relative du pluviomètre de la terrasse à des remous atmosphériques. Mais, s'il en est ainsi, les mo-

(1) *Arago : Œuvres complètes, Mélanges*, p. 420.

difications topographiques qu'ont subies, depuis 1688, les abords de l'Observatoire, suffiraient peut-être à expliquer l'augmentation des moyennes actuelles. Cette idée se présente naturellement à l'esprit, lorsqu'on entend les astronomes se plaindre que, par suite de la multiplication des voitures, des becs de gaz et des *cloches*, certaines recherches sont devenues impossibles à l'Observatoire de Paris, en sorte qu'il faut le reporter dans la campagne, et qu'il est urgent de décentraliser l'astronomie.

En résumé, l'on peut admettre, pour Paris, que, si la pluie a varié depuis le siècle dernier, la variation est si peu considérable que l'on a des doutes sur le sens même de cette variation.

Les observations que l'on possède pour la ville de Bordeaux sont résumées sur le tableau suivant, dont les chiffres sont encore extraits du précieux recueil de M. Raulin.

Quantités annuelles de pluie tombées à Bordeaux par périodes décennales.

INDICATION des périodes.	Nombre d'années.	HAUTEURS de pluie en millimètres	DIFFÉRENCES	NOMS des OBSERVATEURS.
			millimètres.	
1714 à 1720	7	659.1	»	Sarreau père et fils.
1721 1730	10	737.5	+ 78.4	
1731 1740	10	735.1	— 2.4	
1741 1750	10	693.6	— 41.5	
1751 1760	10	670.0	— 23.6	
1761 1770	10	647.8	— 22.2	
1776 1786	10	641.9	— 5.9	Guyot et de la Mothe.
1842 1850	8	849.2	+207.3	Abria.
1851 1860	10	795.2	— 54.8	
1851 1860	10	820.4	»	Petit-Laffitte.
Moyenne générale. . . . . 719 millimètres.				

La colonne des différences montre ici encore que la variation n'obéit pas à une loi de continuité. Pour la première série de 67 années, la moyenne annuelle est de $684^{mm},7$, tandis que, pour la nouvelle série (1842-1860), cette moyenne s'élève à 820 millimètres, soit une augmentation de 20 p. 100.

On remarque sur ce tableau que, pour les mêmes années 1851-1860, deux observateurs différents recueillent des quantités de pluie notablement différentes. Le livre de M. Raulin présente d'autres exemples de ces anomalies : en voici un qui est très-frappant.

Observation faite à Bayonne pendant l'année 1853.

ÉPOQUES.	HAUTEUR de pluie en millimètres.		RAPPORT $\frac{a}{b}$	NOMS des observateurs.
	a	*b*		
Mai.	78,5	27,9	2,81	*a*.— L'abbé Chilo.
Juin.	189,7	170,40	1,11	*b*.—M. Laterrade, ingénieur.
Juillet.	157,1	33,7	4,74	
Août.	46,9	58,3	0,80	
Septembre. .	74,0	100,9	0,73	

En présence de pareilles divergences, on se prend à douter que les observations pluviométriques aient un caractère scientifique quelconque, et l'on se demande comment l'opinion populaire a pu se fixer sur un phénomène si mobile.

M. Raulin fait suivre les chiffres relatifs à Bordeaux de ces réflexions judicieuses : « on comprend facile-
« ment que des instruments différents, entre les mains
« d'observateurs divers, puissent accuser des quantités
« d'eau variables, soit pendant la même période, soit
« dans des périodes successives : il n'y a peut-être
« pas d'autre cause à la quantité recueillie par les
« Sarrau et leurs continuateurs, moindre que celle
« trouvée par M. Abria et surtout par M. Petit-Laffitte.
« Pourtant, il me paraît plus probable que c'est le
« climat de Bordeaux qui est devenu plus pluvieux,
« *peut-être par la multiplicité des pignadas* dans les
« landes avoisinantes : c'est toutefois ce qu'il serait
« difficile d'établir aujourd'hui. »

Il est évident qu'en mettant en cause le reboisement des Landes, le savant professeur s'est fait l'écho d'une assertion souvent émise dans le pays; mais on voit, par les prudentes réserves dont il l'entoure, que, pour lui, aucune preuve, aucun commencement de preuve n'a été fourni. Cette citation néanmoins est intéressante : on soupçonne que le climat de Bordeaux s'altère; cette altération n'est pas encore prouvée et déjà les semis naissants dans la lande sont chargés de ce méfait. C'est une nouvelle preuve de cette disposition naturelle à notre esprit que nous avons reconnue dans le chapitre précédent.

Le plus frappant exemple des variations historiques de la pluie, celui qui est le plus souvent invoqué pour ou contre les forêts, est fourni par la région des Cévennes. Voici les chiffres :

Observations de Flaugergues à Viviers (1).

PÉRIODES.	HAUTEUR D'EAU annuelle.	NOMBRE DE JOURS de pluie.
	millimètres.	
1778 — 1787. . . .	842	83
1788 — 1797. . . .	899	94
1798 — 1807. . . .	926	106
1808 — 1817. . . .	1012	108

L'augmentation est continue et rapide; elle porte sur

(1) *Arago : Mélanges*, p. 422.

le nombre de jours pluvieux aussi bien que sur la hauteur de pluie; elle ne peut être attribuée à aucune erreur d'observation, mais seulement à une variation de la pluie elle-même. Aussi n'a-t-on pas manqué de l'expliquer par le déboisement des montagnes voisines : cette explication se retrouve dans un grand nombre d'auteurs.

Arago la réfute en ces termes : « il paraît douteux « que ces résultats, malgré leur régularité, soient » suffisamment nombreux pour motiver la conclusion « trop générale qu'on en a déduite. Si l'on n'avait eu, « à Paris, que les observations comprises entre les « années 1719 et 1785, on aurait pu également sup- « poser que la pluie moyenne annuelle augmentait « rapidement, et cependant cela est à la fois démenti « par les observations antérieures et par celles qui « suivent. Une augmentation dans la pluie annuelle à « Viviers ne serait, au demeurant, guère favorable à « l'opinion que les pays boisés sont ceux dans les- « quels il pleut davantage, attendu, dit Flaugergues, « que, depuis le commencement des observations, « et principalement dans les dix dernières années, « on n'a cessé de détruire les forêts tant sur le terri- « toire de Viviers que dans tout le département de l'Ar- « dèche, où il ne reste plus aujourd'hui aucun bois « considérable (1). »

Vers le même temps, Tardy de la Brossy mesurait

(1) *Arago : Mélanges*, p. 427.

la pluie à Joyeuse et recueillait les résultats suivants :

De 1805 à 1807	en moyenne.	1^{m}.125
De 1808 à 1817	—	1 .311
De 1818 à 1827	—	1 .394.

On peut admettre que ces deux séries, recueillies en des lieux voisins, sont comparables, au moins pour indiquer le sens de la variation pluviométrique, et l'on voit que, conformément à la remarque d'Arago, la pluie, après avoir augmenté pendant la durée des observations de Flaugergues, commençait à rester stationnaire vers le temps où ces observations ont cessé.

Dans le temps même que Flaugergues observait cette remarquable augmentation de la pluie annuelle à Viviers, on recueillait à Marseille des quantités de pluie décroissantes :

PÉRIODES.	HAUTEUR d'eau annuelle.	NOMBRE DE JOURS de pluie.
	millimètres.	
1772 — 1882.	590	57
1795 — 1805.	530	54
1806 — 1815.	380	55
1815 — 1820.	370	»
1823 — 1832.	432	52
1833 — 1842.	571	67
Moyennes. . . .	482	57

« ... Il semble, » dit Arago après avoir donné ces chiffres, que ces variations doivent être considérées « comme accidentelles : elles disparaîtront sans doute « quand les moyennes seront déduites d'un plus grand « nombre d'années ; mais on voit, en attendant, qu'il « n'y aurait aucune raison de ne pas étendre à la France « les conséquences que nous avons tirées précédemment « de la discussion des seules observations de Paris. »

Montpellier est encore plus voisin des Cévennes que Marseille. Le climat de cette région a été l'objet d'une étude spéciale par M. Marié-Davy ; voici les conclusions de sa thèse telles que les rapporte M. Raulin :

« Il résulte que les moyennes ont été en s'accroissant « de 1767 à 1790 ; qu'à partir de ce moment, elles se « sont affaiblies de plus en plus jusqu'à tomber de « 857 millimètres à 644 (1). L'opinion vulgaire que notre « climat va en se desséchant chaque jour, opinion basée « sur l'amoindrissement graduel des sources, se trouve « ainsi trop bien justifiée par des mesures directes.

« Cette diminution des eaux pluviales se rattache à « des causes complexes, dont il serait extrêmement dif- « ficile de préciser le rôle sans que nous perdions com- « plétement l'espoir d'y arriver. L'extension des cul- « tures, *les déboisements opérés*, non-seulement aux « environs de Montpellier, mais sur les montagnes si- « tuées à de grandes distances de la ville, ont une part « incontestable dans la production du phénomène ; mais

(1) Ainsi la pluie diminuait à Montpellier et à Marseille dans le temps même qu'elle augmentait à Joyeuse et à Viviers.

« celui-ci se trouve dominé par une cause plus géné-
« rale. »

Il faut reconnaître que le déboisement est véritablement le *Deus ex machinâ* de la météorologie. Il suffit à tout : la pluie augmente jusqu'en 1790, c'est le déboisement ; elle diminue après 1790, c'est le déboisement ; elle diminue à Montpellier tandis qu'elle augmente à Viviers, c'est encore le déboisement qui en est cause ; enfin, elle augmente à Bordeaux, c'est l'effet du reboisement !

Dans chaque cas, on invoque l'opinion populaire ; mais quelle est précisément cette opinion ? En vérité ! si la plaisanterie était permise en ces graves matières, on pourrait résumer, dans tous les cas et quoi qu'il arrive, la théorie populaire par ce mot qui rappelle un trait de vaudeville : *c'est la faute au déboisement !*

Après avoir examiné la distribution de la pluie entre les saisons, M. Marié-Davy résume sa thèse par cette conclusion toute scientifique et qui satisfait pleinement.

« ... Le régime des pluies se serait donc modifié à
« Montpellier comme si cette ville fût descendue d'a-
« bord à une latitude plus méridionale, puis ensuite fût
« remontée graduellement vers le nord. La tempéra-
« ture moyenne, ainsi que la quantité moyenne d'eau
« pluviale reçue à Montpellier, se sont modifiées dans
« le même sens et à peu près dans le même temps.
« Tous ces phénomènes ont donc un lien commun, et
« se rattachent à une cause dont l'action ne saurait être
« limitée à notre pays.

Oui, voilà la vérité qui s'applique non-seulement à Montpellier, mais encore à la terre entière. La pluie est mobile et variable comme le vent qui l'apporte; mais ses variations ne sont pas toujours de même sens : la pluie augmente ou diminue; elle oscille; et l'amplitude de ces oscillations étant presque aussi grande pour les variations décennales que pour les variations séculaires, on ne peut les attribuer à quelque cause locale et prolongée, telle que le déboisement qui, dans le même lieu, aurait toujours agi dans le même sens. Elles tiennent sans doute à ces influences, encore peu connues, auxquelles notre planète est soumise.

Nous avons déjà rappelé que les glaciers augmentent au pôle Nord, tandis qu'ils diminuent au pôle austral; ceux des montagnes avancent ou reculent par périodes de quelques années. D'une manière générale, les glaciers des Alpes ont avancé depuis le XIIIe siècle.

Voici d'autres faits : la mer Morte se dessèche, de même que la mer Caspienne; la branche de l'Oxus, qui s'y jetait encore du temps d'Alexandre, s'est perdue dans le désert, et le reste du fleuve tombe dans la mer d'Aral.

Les *lacs amers*, récemment remplis d'eau par les ingénieurs de l'Isthme de Suez, et le Sahara, que la génération prochaine convertira peut-être en mer intérieure au moyen d'un canal artificiel (1), ont été desséchés à des époques relativement récentes. De nos jours, l'Afrique australe se dessèche très-rapidement, des fo-

(1) *Association scientifique de France, Bulletin n°* 135 (1869).

rêts meurent sur pied, faute d'eau : des lacs, des rivières, marqués sur les cartes, ne se retrouvent plus après quelques années ou se révèlent à peine dans le sable, là par un sillon à demi effacé, ici par une cuvette bordée de sel et désertée des éléphants (1).

La météorologie n'est pas encore en mesure de nous expliquer ces faits incontestables : pour y parvenir, il faut qu'elle s'applique à reconnaître la marche de la pluie par chaque nature de vent. Par exemple, l'augmentation de la glacière boréale suppose une plus grande condensation de vapeur au pôle Nord ; mais cette vapeur, d'où vient-elle ? Est-ce le vent de sud-est, de sud ou celui de sud-ouest qui l'apporte ou qui tend à prédominer ? Ou bien s'accordent-ils tous trois pour dessécher la région australe et pour arroser l'Europe ou le Groënland ?

Quelle que soit la réponse qui sera faite à ces questions, on peut dès aujourd'hui reléguer l'action des forêts parmi les infiniment petits de la météorologie. Quant au préjugé populaire, dont le sens même est indécis, respectons-le comme un souvenir de cette ancienne phy-

---

(1) *David et Charles Livingstone : Explorations dans l'Afrique australe de* 1840 *à* 1864 (chap. I). — *Thomas Baines : Voyage dans le sud-ouest de l'Afrique en* 1861 *et* 1862 (chap. IV).

Certains auteurs ont prétendu que des plantations faites en Égypte avaient rendu les pluies plus fréquentes. Clot Bey démontre le contraire (*Aperçu général sur l'Égypte.* Paris, 1840; 1er vol., p. 22). Au Caire, les moyennes annuelles sont : nombre de jours où il a plu, 12; tranche pluviale, 34 millimètres.

sique dont nous avons rapporté ci-dessus quelques théories; et, pour en finir avec l'exemple si souvent invoqué des Cévennes, disons que ces montagnes n'ont jamais été couvertes de forêts, ou que leur déboisement est bien ancien (1), et que la faute des bûcherons accusés d'avoir, dans les temps modernes, altéré ce climat est comparable à celle de l'Agneau de la Fable : *Comment l'auraient-ils faits s'ils étaient déjà morts?*

---

(1) *De Mardigny : Annales des P. et Ch.* (1860), t. I, p. 249-262.

CHAPITRE IV.

LES FORÊTS ET LES COURS D'EAU.

Évaporation. — Infiltration.

Quelle action les forêts exercent-elles sur les cours d'eau? Quel est notamment leur rôle dans les inondations?

Pour l'étude de ces questions, il nous faut quitter les hauteurs nuageuses où règnent les météores et descendre sur le terrain plus solide et mieux connu de l'hydrologie. Le problème, toutefois, n'est pas aussi simple qu'on pourrait le supposer : avant de l'aborder, il est nécessaire d'analyser le régime des eaux et de se familiariser avec ce que l'on peut appeler le *mécanisme de l'inondation*.

L'eau de pluie ne profite pas toute aux cours d'eau. A peine tombée, la nappe pluviale se divise aussitôt en trois parts : la première, reprise par l'évaporation, retourne dans l'atmosphère pour former de nouveaux orages; la seconde, après s'être infiltrée dans le sol,

reparaît plus bas sous forme de sources, lorsqu'elle ne s'est pas perdue dans les réservoirs profonds d'où la sonde artésienne la fait jaillir; le reste enfin s'écoule à la surface des terres et, par mille rigoles, court vers les thalwegs pour alimenter les ruisseaux, les rivières et les fleuves.

Évaporation, infiltration, ruissellement, sont trois chapitres de dépense ou de *débit* entre lesquels se partage le produit de la pluie, et l'on comprend de suite que ces trois parts ne sont pas reliées par une formule absolue. Leur importance relative varie non-seulement d'un cours d'eau à un autre, suivant la nature du terrain plus ou moins favorable au *ruissellement* ou à l'*infiltration*, mais encore, pour le même cours d'eau, suivant la saison qui modère l'*évaporation* ou l'accélère. En été, le sol plus sec, l'air plus chaud, sont plus avides; ils boivent ou aspirent les eaux; en hiver, l'air humide, les terres détrempées laissent écouler la nappe pluviale.

La seule loi générale et certaine qui, dans le bassin d'un fleuve, unisse les trois parts du *débit*, c'est qu'elles sont *complémentaires*, c'est-à-dire que leur somme est égale à la pluie qui y tombe. Si, par exemple, après que l'*évaporation* a prélevé sa part, l'*infiltration* est totale, le *ruissellement* sera nul.

De ce que les forêts sont impuissantes à modifier sensiblement la quantité d'eau pluviale qui tombe dans le bassin d'un fleuve (telle est du moins la conclusion des chapitres précédents), il ne s'ensuit pas qu'elles sont sans

action sur son régime. Leur influence se fera sentir si elles facilitent ou retardent l'*évaporation*, l'*infiltration* ou le *ruissellement* des eaux. Ainsi, l'action des forêts sur les cours d'eau résulte de trois composantes, qu'il importe d'étudier d'abord séparément avant de chercher à les combiner entre elles.

Influence des forêts sur l'évaporation. — L'évaporation est, pour la physique moderne, un phénomène relativement simple et bien connu. On sait, pour chaque température, quelle est la tension de la vapeur et le degré de saturation de l'air. Cependant envisagé au point de vue météorologique, ce phénomène est des plus obscurs; le petit nombre d'observations qui s'y rapportent ne sont pas comparables entre elles.

Quelle est, en un lieu donné, la hauteur d'eau qui est enlevée en une heure par l'évaporation? Cette hauteur d'eau varie suivant que la surface évaporante est prise sur le sol détrempé ou seulement humide, sur l'eau dormante ou courante, à l'ombre ou au soleil, en été ou en hiver; suivant que l'air est déjà saturé ou non; suivant qu'il vente ou que l'atmosphère est calme.

Deux bassins voisins, placés dans les mêmes circonstances météorologiques, évaporent des quantités d'eau inégales, s'ils sont plus ou moins grands, si leurs bords sont plus ou moins relevés, s'ils sont abrités on non contre le vent, etc.

Lorsqu'on dit que l'évaporation enlève annuellement

à Rome 2m.462, à Marseille 2m.289, à Paris 0m.698, à Londres 0m.754, à Toulouse 0m.649, à Copenhague 0m.209 (1), on veut simplement dire que, dans les circonstances où les observateurs s'étaient placés, ils ont constaté ces résultats. Mais, les moyennes d'évaporation annuelle fournies, pour chaque lieu, sont loin d'avoir la même valeur scientifique que les moyennes de la pluie annuelle qui présentent au contraire un caractère spécifique. On peut toutefois dire avec certitude que l'évaporation va en décroissant de l'équateur au pôle, où, du reste, elle est loin d'être nulle, même par les plus grands froids (2); qu'elle est plus faible près des côtes que dans l'intérieur des terres; plus faible aussi par le vent *équatorial* du sud-ouest que par le vent *polaire* du nord-est (3), le premier étant saturé d'humidité, tandis que le second a perdu la sienne.

L'évaporation exerce sur le régime des cours d'eau une influence prépondérante, car ceux qui ne sont pas alimentés exclusivement par des glaciers ont tous leur étiage dans la saison de la plus forte évaporation, lors même que cette époque est, en même temps, celle du maximum de pluie. On en peut juger par le tableau suivant où sont réunies, pour quelques fleuves ou rivières, les hauteurs moyennes mensuelles de la pluie et de l'eau courante.

---

(1) *Vallès : Les Inondations*, p. 23.

(2) *Hayes : La Mer libre du Pôle.* (Hachette, 1868, p. 224.) — Le linge mouillé, exposé à l'air, sèche aux plus basses températures : une tablette de glace suspendue à un fil s'évapore peu à peu.

(3) *Schmidt : Grundriss der Meteorologie.*

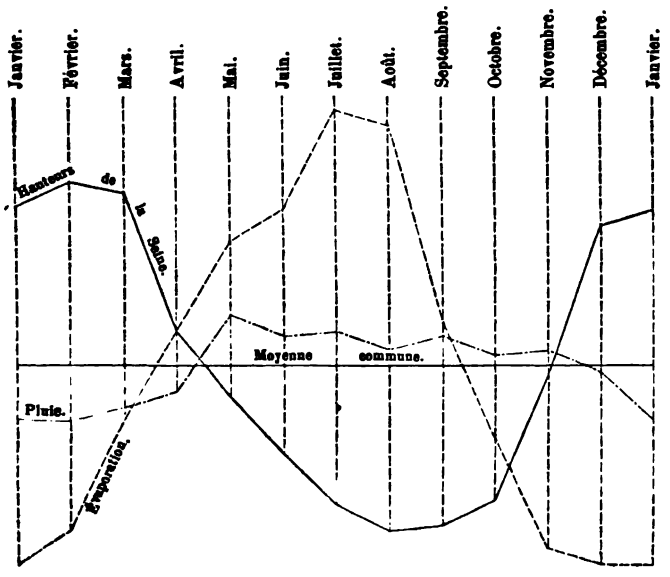
INDICATION des MOIS.	LA SEINE			LE PO.			LA GARONNE.			LA LOIRE.	L'ADOUR.		LE RHIN.	
	Hauteur d'eau évaporée à Paris.	Hauteur de pluie à Paris.	Hauteur moyenne de la Seine.	Hauteur d'eau évaporée à Turin.	Hauteur de pluie à Milan.	Hauteur moyenne du Pô.	Hauteur de pluie à Toulouse.	Hauteur moyenne de la Garonne à Tonneins.	Débit moyen par seconde à Tonneins.	Hauteur moyenne à Tours.	Hauteur de pluie à Bagnères-de-Bigorre.	Hauteur de l'Adour à Bagnères-de-Bigorre.	Hauteur à Bâle.	Hauteur à Cologne.
	a)	*a*)	*a*)	*b*)	*c*)	*d*)	*e*)	*f*)	*f*)	*g*)	*h*)	*i*)	*k*)	*k*)
	mm	mm	m	mm	mm	m	mm	m	mc	m	mm	m	m	m
Janvier.	18	31	2.05	47.2	72.2	0.485	41.4	2.49	816.0	1.38	78.2	1.10	1.34	2.39
Février.	25	29	2.17	61.0	51.9	0.627	40.6	2.86	942.7	1.42	94.8	0.97	1.22	2.63
Mars.	47	32	2.16	81.7	58.6	1.080	42.4	2.78	981.1	1.55	142.2	1.31	1.51	2.59
Avril.	66	37	1.42	90.9	76.7	1.034	62.5	2.87	918.6	1.38	197.1	2.66	1.74	2.16
Mai.	84	52	1.07	116.2	94.7	2.000	84.1	2.85	914.6	1.06	203.8	3.06	2.35	2.10
Juin	90	48	0.82	130.0	81.2	1.950	62.3	2.39	717.3	0.96	157.3	2.69	2.64	2.26
Juillet.	111	48	0.56	143.8	72.2	1.242	47.5	1.41	340.1	0.42	59.2	1.65	2.72	2.35
Août.	108	45	0.43	137.2	76.7	0.929	43.7	0.90	201.0	0.31	68.5	0.92	2.55	2.11
Septembre. . . .	68	47	0.44	111.6	81.2	1.727	58.3	1.17	294.6	0.35	111.3	0.66	2.23	1.82
Octobre	43	43	0.55	77.1	106.0	1.905	57.7	1.64	465.5	0.82	132.7	0.53	1.94	1.68
Novembre. . . .	21	44	1.17	56.4	110.5	1.080	45.2	2.16	633.9	1.13	77.1	0.74	2.00	1.87
Décembre. . . .	17	40	1.92	49.5	76.7	0.623	47.0	2.33	692.4	1.35	163.5	1.00	1.63	2.32
Totaux ou moyennes.. . .	698	496	1.23	1102.6	958.6	1.223	632.7	2.16	659.8	1.01	1485.7	1.40	2.00	2.21

a) *Dausse : Annales des Ponts et Chaussées*, 1842, t. I, p. 198.
b) *Vallès : Annales des Ponts et Chaussées*, 1855, t. I, p. 279.
c) *Kaemtz : Lehrbuch der Meteorologie*, t. I, p. 477.
d) *Baumgarten : Annales des ponts et chaussées, id.* 1847, t. I, p. 142.
e) *Raulin : Observations pluviométriques*, p. 113.
f) *Baumgarten : Annales des Ponts et Chaussées*, 1848, t. II.
g) *Descombes : Note manuscrite.*
h) *Raulin : Observations pluviométriques*, p. 102.
i) *Id. Note sur le régime de diverses rivières.*
k) *Bravais : Patria*, t. I, p. 109.

Ces chiffres ne laissent aucun doute sur le rôle prépondérant de l'évaporation. Que le bassin soit très-perméable comme celui de la Seine, ou imperméable comme ceux de la Loire, du Pô et de la Garonne, la hauteur moyenne de l'eau dans le fleuve paraît presque indépendante de la hauteur de pluie : il n'est même pas rare que ces hauteurs varient en sens inverse, l'une augmentant quand l'autre diminue. Au contraire, au maximum de l'évaporation correspond presque toujours un minimum de la hauteur d'eau.

Pour le bassin de la Seine, par exemple, ces circonstances sont nettement mises en évidence par le diagramme suivant, emprunté au beau mémoire de M. Dausse.

Fig. 1. — Régime de la Seine, de la pluie et de l'évaporation à Paris.

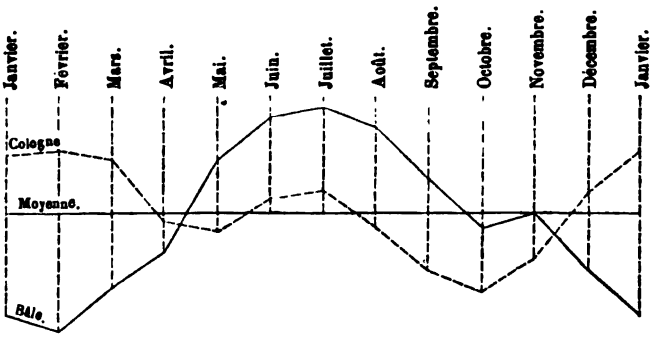


Les circonstances du Pô sont aussi remarquables : on sait que les montagnes reçoivent leur maximum de pluie en été ; en été, disparaît aussi la masse accumulée des neiges hivernales, et tous les torrents qui sortent des glaciers sont alors en crue continue (1). Cependant le Pô, alimenté par les glaciers des Alpes et dont l'étiage est en hiver, présente un second étiage très-marqué au moment de la plus grande évaporation.

L'Adour, rivière de montagne, est à peu près soumise aux mêmes alternatives.

Le régime du Rhin, en deux points de son cours éloignés l'un de l'autre, à Bâle et à Cologne, est représenté sur la figure ci-dessous, où l'on peut voir la crue estivale, très-forte dans le bassin supérieur et résultant de la fonte des neiges, s'effacer et se transformer en étiage à mesure que le fleuve, s'éloignant des montagnes, l'évaporation exerce plus d'empire sur lui et sur ses affluents.

Fig. 2. — Le Rhin à Cologne et à Bâle.



(1) A Genève, distante de 70 kilomètres du mont Blanc, les variations de l'Arve sont encore en relation très-directe avec la température du jour et même avec celle de l'heure. (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1857, t. II.)

Dans le bassin supérieur, la chaleur estivale gonfle le fleuve par la fonte des neiges, et, dans le bassin inférieur, elle le tarit par l'évaporation, en sorte que les plus hautes eaux de Cologne correspondent à l'étiage de Bâle.

On voit encore sur le tableau de la page 90 que, dans le même lieu, il peut s'évaporer plus d'eau que la pluie n'en fournit. A Paris, par exemple, la pluie fournit 496 millimètres et l'évaporation en enlève 698, c'est-à-dire que si l'on abandonnait un pluviomètre à l'air libre, il resterait à sec pendant une partie de l'année.

Les observations rapportées ci-dessus relativement à l'évaporation ont toujours été faites à l'ombre, sur la surface d'une eau dormante; il n'est pas douteux que sur les terres noires et surchauffées par le soleil, l'évaporation ne soit plus active encore. Il faut donc admettre qu'une tranche pluviale, même supérieure à la moyenne annuelle, mais qui tomberait en été par alternatives bien ménagées de grains et d'embellies, serait reprise aussitôt et ne fournirait pas une goutte d'eau aux rivières. Il suffit, pour en juger, de se rappeler ce qui se passe en été sur les promenades de Paris : abondamment arrosées, elles sont cependant toujours à sec.

Si tel est le rôle considérable de l'évaporation, il est évident que les forêts exercent sur les cours d'eau une action sensible, selon qu'elles favorisent ou retardent, même faiblement, l'évaporation. Mais dans quel sens s'exerce leur action ? Ici tout le monde paraît à peu près d'accord.

De tout temps, les poëtes ont chanté l'ombre fraîche, l'ombre humide des grands bois (1). Une nef de verdure jetée sur une route la maintient humide et, par suite, la protége ou la dégrade suivant les climats ou les saisons. A chaque page des ouvrages forestiers on rencontre quelque allusion à l'humidité qui est favorable aux semis et que l'ombre entretient.

Si quelqu'un conserve des doutes, qu'il s'engage à la suite d'un garde forestier, le lendemain d'un jour d'orage : lors même que la plaine découverte et, *a fortiori*, les chemins sont déjà desséchés, il pourra se procurer un bain froid en pénétrant dans les taillis touffus. A ses pieds, les hautes herbes vaudront un ruisseau et, sur sa tête, chaque branche agitée versera une douche très-démonstrative (2).

Il paraît donc naturel de croire que les forêts s'opposent à l'évaporation et, par suite, augmentent pour la

---

(1) Lucus erat lungo nunquam violatus ab ævo,
Obscurum cingens connexis aera ramis
Et gelidas alte submotis solibus umbras.
(Lucain, *Pharsale*, III, V, p. 339.)

(2) Chacun a pu observer que, sur les feuilles de certains végétaux, mais non pas de tous, les gouttes de pluie prennent la forme sphéroïdale; dans cet état elles résistent énergiquement à l'évaporation, de même qu'on voit des gouttes globuliformes courir sur un fer rouge sans entrer en ébullition. Les autres feuillages sont desséchés depuis longtemps que ces perles scintillent encore sur les herbes qui les portent. Certaines espèces conservent ainsi l'eau de pluie jusqu'à ce que l'agitation des feuilles fasse tomber ces gouttes sphéroïdales.

terre le produit de la pluie. Cependant les objections ne manquent pas.

On fait d'abord remarquer que le feuillage des arbres arrête une partie notable de l'eau pluviale. Lorsqu'un léger orage survient après plusieurs jours de sécheresse, on peut voir chaque arbre projeter une ombre sèche qui, sur le fond humide des routes, se dessine par une tache poudreuse. Cette eau arrêtée par les feuilles est perdue pour la terre; l'arbre ou l'air l'absorberont et son importance n'est pas négligeable.

Le maréchal Vaillant a souvent attiré l'attention publique sur l'hydrologie forestière; il a institué des expériences pour mesurer la quantité de pluie qui est arrêtée par le feuillage des arbres. Voici quelques-uns des chiffres qu'il a donnés; les observations ont été faites dans la forêt de Fontainebleau pendant l'année 1866 (1) :

(1) *Revue des eaux et forêts*, 1867, p. 161.

MOIS.	QUANTITÉ DE PLUIE RECUEILLIE		RAPPORT.
	en plein air.	sous bois feuillus de 35 ans.	
	mm	mm	
Janvier.	35.0	24.5	0.70
Février.	78.5	63.0	0.81
Mars.	80.8	58.2	0.72
Avril.	67.0	50.9	0.76
Mai.	46.2	31.5	0.68
Juin.	66.0	32.0	0.48
Juillet.	105.8	53.8	0.50
Août.	117.0	60.0	0.51
Septembre.	123.5	65.0	0.51
Octobre.	31.0	14.2	0.45
Novembre.	47.5	29.0	0.62
Décembre.	61.2	43.5	0.70
	859.5	524.7	0.60

On voit, par la colonne des rapports, que les feuilles ont arrêté en hiver 30 p. 100 et en été 50 p. 100 de l'eau qui tombe, soit en moyenne dans l'année, 40 p. 100.

Sous des épicéas de trente-cinq ans, très-touffus probablement, le pluviomètre n'a recueilli que 21 p. 100 de la pluie annuelle : l'arbre arrêtait 79 p. 100. Dans une forêt voisine de Versailles, le pluviomètre, placé sous bois feuillu, a recueilli 80 p. 100 de la pluie annuelle; le feuillage n'a arrêté que 20 p. 100. Sous une futaie de chênes de soixante-dix à cent vingt ans, l'instrument a recueilli 85 p. 100 de la pluie annuelle.

Peut-être y aurait-il à discuter un peu ces expériences : la position donnée aux pluviomètres a pu influer singulièrement sur le résultat. Deux instruments placés sous un parapluie, l'un vers le centre, l'autre à la circonférence à portée des gouttières, donneraient une mauvaise mesure de l'eau qui tombe en moyenne sur le sol.

M. Mathieu, sous-directeur de l'École forestière, a entrepris une série d'expériences dans des conditions très-favorables. En voici une qui est particulièrement intéressante, et dont les résultats ne s'accordent guère avec ceux du maréchal Vaillant.

Deux udomètres ont été disposés dans la station forestière des *Cinq-Tranchées*, « l'un en plein bois, sous un « perchis de hêtres et de charmes, moyennement semé « et touffu, âgé de quarante-deux ans ; l'autre, à peu de « distance, au milieu d'un espace découvert, de plusieurs « hectares. Il est bon de noter que l'udomètre de la « forêt est de construction spéciale ; que le récepteur « embrasse la tige d'une des perches du massif et pré- « sente une surface entièrement égale à la projection « de la cime de cette dernière ; que, par ce moyen, les « indications de l'instrument sont d'une exactitude « complète et représentent bien, sans l'exagérer ni « l'affaiblir, l'épaisseur de la lame d'eau reçue par le « sol boisé; que cette eau s'égoutte de feuille en feuille, « passe entre les ronces qui peuvent exister entre elles, « ou ruisselle le long du tronc. »

Dans ces conditions les udomètres ont donné, en 1868, les quantités de pluie suivantes :

MOIS.	HAUTEUR DE PLUIE		RAPPORT $\frac{a}{b}$.
	sous bois a.	hors bois b.	
	mm	mm	
Janvier.	68	73	0.931
Février.	37	36	1.025
Mars.	50	50	1.000
Avril.	69	73	0.945
Mai.	8	8	1.000
Juin.	48	52	0.923
Juillet.	31	34	0.911
Août.	26	37	0.702
Septembre.	59	61	0.962
Octobre.	118	122	0.967
Novembre.	26	18	0.928
Décembre.	163	174	0.936
Totaux.	703	749	0.939

On peut s'étonner de voir sur ce tableau que, pendant les mois de février, mars et mai, le pluviomètre abrité a reçu autant ou plus de pluie que le pluviomètre découvert; il en faut nécessairement conclure que soit par quelque *caprice* de la pluie, soit par l'effet même des arbres, il tombait plus d'eau dans le bois que dans l'espace découvert voisin. Ce résultat s'expliquerait d'ailleurs tout naturellement et sans faire intervenir l'action spéciale de la végétation, si l'espace découvert était moins accessible au vent pluvial que le massif boisé.

Il est remarquable que le rapport moyen qui est 0.939

pour 1868 avait été 0.938 pour 1867, 0.952 pour 1866, c'est-à-dire que ce rapport varie très-peu.

Dans la station de *Belle-Fontaine*, M. Mathieu a mesuré l'évaporation au moyen de bassins exactement comparables placés hors bois ou sous bois feuillu. Il a obtenu les résultats suivants :

MOIS.	EAU ÉVAPORÉE		RAPPORT $\frac{a}{b}$.	OBSERVATIONS.
	hors bois *a*.	sous bois *b*.		
	mm	mm		
Janvier.. . .	»	»	»	Pas d'observation
Février.. . .	»	»	»	à cause d[illegible]
Mars.	33	9	3.66	gelée.
Avril.. . . .	50	19	2.63	
Mai.	105	23	4.56	
Juin.	107	19	5.63	
Juillet. . . .	95	10	9.50	
Août.	75	8	9.37	
Septembre..	55	11	5.00	
Octobre. . .	12	3	4.00	
Novembre. .	2	0	»	
Décembre. .	8	4	2.00	
Totaux. .	542	106	5.11	

Ainsi pendant dix mois de 1868, l'évaporation a été cinq fois plus forte à découvert que sous le massif de la forêt (haut perchis, serré et touffu de charmes, hêtres, chênes et frênes de soixante-deux ans).

En définitive, et malgré la petite quantité d'eau retenue

par les feuilles, les observations qui précèdent fortifient cette conclusion que, pour la même hauteur de pluie, le sol de la forêt reçoit et retient notablement plus d'eau que le sol découvert.

La question présente cependant encore un autre point de vue : Les végétaux sont de véritables alambics; ils distillent dans l'air une certaine quantité d'eau que leurs racines vont puiser dans le sous-sol.

Le maréchal Vaillant a mis une branche de chêne, comme un bouquet, dans un vase plein d'eau; il a mesuré l'eau perdue par les feuilles, et il a cru pouvoir [illegible]re que l'arbre dont cette branche était détachée [illegible]ait par vingt-quatre heures dans l'atmosphère plus de deux mille kilogrammes d'eau (1).

Cette expérience n'a pas convaincu tout le monde. D'abord la branche soumise à ce régime est morte en trois jours; ensuite, eût-elle vécu plus longtemps, on aurait encore pu dire que le végétal, sevré de la séve nourricière, a dû absorber plus que sa ration habituelle d'eau claire. Il était dans la situation d'un animal, privé d'aliments substantiels, qui avalerait par potées du bouillon maigre et cependant mourrait de faim. D'ailleurs on a refait l'expérience, non plus sur une branche, mais sur un jeune arbre pourvu de ses racines, et déjà l'évaporation s'est trouvée presque insignifiante (2).

---

(1) *Revue des eaux et forêts*, juillet 1865 et juin 1867.
(2) *Revue des eaux et forêts*, août 1868.

Mais, à ces expériences de laboratoire bien différentes des circonstances naturelles, on peut opposer une observation très-concluante et très-simple. Dans le Roussillon, la pluie est une rareté ; les habitants se rappellent des périodes de plus d'une année sans pluie notable ; en outre, les coteaux du littoral, derniers contre-forts des Pyrénées, sont d'un calcaire très-perméable ; cependant la vigne prospère dans cette région ; ses feuilles verdoient dans la roche aride et les grappes se gonflent d'un suc savoureux, tandis que, le long des chemins poudreux, la cigale poursuit le voyageur de son cri, emblème de la sécheresse. Ce n'est pas assurément dans ce sol sans humidité que la vigne s'abreuve, c'est dans l'atmosphère ; les vignerons ne s'y trompent pas et, quand ils craignent pour leurs récoltes, ce n'est pas la pluie qu'ils attendent, ils savent que leur espérance serait vaine : ils réclament le *vent marin* qui leur suffit parfaitement. Au contraire, dans les *palus* de Bordeaux, on voit la vigne pousser, pour ainsi dire, les pieds dans l'eau.

Il est donc probable que les végétaux, ou du moins quelques-uns, sont doués d'une vertu élective ; ils prennent l'eau où ils la trouvent et, s'ils distillent l'eau souterraine lorsqu'elle est en excès, ils savent aussi condenser et absorber l'eau de l'atmosphère (1).

---

(1) ..... « Quand nous avions soif, les Boschimans nous arra-
« chaient des racines. L'une d'elles avait dans sa plus large cir-
« conférence 1 mètre et dans la moindre 75 centimètres... Ce
« don inestimable que la Providence a fait *à cette terre sans*
« *eau* s'appelle *markwhae.* » (*Thomas Baines : Voyage dans le sud-ouest de l'Afrique*, abrégé par Belin de Launay, p. 81.)

La rosée que les nuits sereines déposent en abondance sur le feuillage vient-elle de la terre par l'intermédiaire du végétal ou seulement de l'air? Ces deux sources fournissent-elles chacune sa part, et dans quelle proportion? La science n'est pas encore en état de répondre; mais, quand on voit les objets métalliques, tels que les fils du télégraphe, se couvrir de rosée ou de givre comme les vegétaux voisins, tandis que la pierre, la terre ou le bois restent secs, il faut bien admettre que si les feuilles distillent, pendant le jour, l'eau souterraine, elles attirent et fixent, pendant la nuit, celle de l'atmosphère. La chaleur et peut-être aussi la lumière sont les causes déterminantes de ces effets divers.

Toutes les expériences faites ou à faire sur la respiration humide des végétaux, ne détruiront pas l'expérience sans cesse renouvelée, sous nos yeux, dans le grand laboratoire de la nature et dont l'enseignement très-clair peut s'exprimer ainsi : *Sur la surface du sol, et toutes choses égales d'ailleurs, l'humidité est plus grande sous l'abri des forêts que dans la plaine ouverte.*

C'est pour cela que le long des canaux dont l'eau est précieuse, on a le soin de planter de beaux arbres feuillus. Chacun sait que ces arbres retiendront plus d'eau par leur ombre qu'ils n'en absorberont par leurs racines. Si chaque arbre distillait 2 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures, comme le pense le maréchal Vaillant, les plantations faites le long d'un canal de 100 kilomètres l'auraient bientôt mis à sec.

La forêt agit donc par son ombre et par l'obstacle qu'elle oppose au vent desséchant. Son action est d'au-

tant plus forte que la différence de température est plus grande entre l'ombre et le soleil ; elle sera plus efficace en été, c'est-à-dire précisément dans le temps où l'évaporation est le plus à craindre.

En hiver, au contraire, saison où les cours d'eau tendent à monter, les forêts, surtout celles d'arbres feuillus qui se dépouillent alors de leurs feuilles, agissent avec moins d'énergie contre l'évaporation. L'action des forêts relativement à l'évaporation doit donc avoir pour résultat de faire monter les cours d'eau *un peu* pendant l'hiver et *beaucoup* pendant l'été. — Essayons de préciser par quelques chiffres ces termes vagues : *un peu*, *beaucoup*.

Sous le climat de Paris, si l'on prend pour unité la quantité de pluie qui tombe pendant le semestre d'hiver (*octobre à mars*), on a, d'après le tableau de la page 90 qui donne pour Paris la quantité d'eau tombée et évaporée à l'air libre, et d'après le tableau de la page 99 d'où l'on peut déduire pour le rapport de l'évaporation sous bois et hors bois, pendant l'hiver 0,30 et pendant l'été 0,18 :

	HIVER.	ÉTÉ.
Hauteur d'eau tombée. . .	1,60	1,72
Hauteur d'eau évaporée à l'air libre.	0,78	2,40
Hauteur d'eau évaporée sous bois	0,78×0,30=0,23	2,40×0,18=0,43

D'après ces chiffres, un cours d'eau dont le bassin, supposé imperméable, serait soumis au même régime

pluvial que Paris, débiterait suivant les saisons et suivant qu'il serait boisé ou non, les quantités d'eau suivantes :

	HIVER.	ÉTÉ.
Bassin non boisé.	0,22	0,00
— boisé.	0,77	1,29

Cet exemple est purement hypothétique, il permet cependant de conclure que *les forêts, à ne considérer que leur composante relative à l'évaporation, ont pour effet de régulariser le régime des cours d'eau, en ce sens que si elles augmentent le débit d'hiver elles augmentent plus encore le débit d'été* (1).

Influence des forêts sur l'infiltration. — Après avoir à peu près fixé nos idées sur l'*évaporation*, cherchons à apprécier la seconde composante de l'action hydrologique des forêts, celle qui est relative à l'*infiltration*. Ce sont les *sources* qui nous révèlent la perméabilité du sol, et l'on peut dire que, si leur régime dépend de la météorologie, leur existence tient surtout à des circonstances géologiques.

Le mont Ventoux, séparé des Alpes par des vallées profondes et isolé de toutes parts, est une masse de calcaire fendillé très-perméable, posée sur une base impermeable et qui s'incline vers le sud-est. Ainsi construite, la montagne est un véritable filtre à travers

(1) De ce que les forêts relèvent le niveau moyen des cours d'eau pendant l'hiver, il ne s'ensuit pas qu'elles augmentent le danger des crues exceptionnelles qui sont surtout à craindre dans cette saison. — (Voir ci-après, chap. VI).

lequel la pluie disparaît instantanément, et, sauf les cas d'orage très-violents, les ravins superficiels sont toujours à sec. Les eaux souterraines, mises à l'abri de l'*évaporation*, descendent lentement par les fissures intérieures de la roche ; arrêtées enfin par la couche imperméable, elles sont dirigées vers le sud-est et affleurent en sources assez puissantes pour faire marcher des usines (1).

La belle fontaine de Vaucluse doit son origine à des circonstances analogues : c'est une véritable rivière qui s'est formée, comme les rivières ordinaires, par la réunion d'un grand nombre de tributaires imperceptibles ; mais elle présente cette particularité que son bassin, au lieu de s'ouvrir librement sous la voûte du ciel, est souterrain et recouvert d'une grande épaisseur de calcaire perméable. La surface de ce bassin approche de 100,000 hectares (2); le débit de la fontaine est, à l'étiage, de 10 à 12 mètres cubes, c'est-à-dire presque le sixième de la Seine (3). L'Eure, dont le bassin est six fois plus étendu que celui de la fontaine de Vaucluse, ne donne pas autant d'eau qu'elle à l'étiage.

Et cependant quelle différence entre le climat de la Provence et celui de la Normandie! En Provence, l'éva-

(1) *Ch. Martins, Du Spitzberg au Sahara.*

(2) *Bouvier, Annales des ponts et chaussées* (1855, t. I, p. 367).

(3) Le 12 août 1858, la Seine est tombée au-dessous des plus basses eaux observées depuis cent cinquante-six ans. Le jaugeage exécuté ce jour-là a donné un débit de 48 mètres cubes par seconde. L'étiage ordinaire de la Seine est de 75 à 80 mètres cubes. *Belgrand, Annales des ponts et chaussées* (1858, t. II, p. 222).

poration peut enlever, en un an, trois ou quatre fois autant d'eau que la pluie n'en donne; la plupart des cours d'eau tarissent en été, et les plaines de la Camargue, malgré les inondations et l'irrigation, se couvrent d'efflorescences salines. Si donc, sous ce climat, la source de Vaucluse est si constante et si riche, c'est que, semblable à toutes les sources, son bassin étant souterrain, les eaux qui y ont une fois pénétré sont tenues à l'abri de l'*évaporation*.

Mais il dépend de l'*évaporation* plus ou moins active qui se fait à la surface de la terre que l'eau d'*infiltration* soit plus ou moins abondante. Par suite, le régime des sources, comme celui des rivières, est dominé par l'évaporation. Les sources se gonflent en hiver et baissent en été, lors même que le maximum de pluie tombe en été; quelques-unes même tarissent complétement : ce sont des sources *éphémères*. L'écart entre les deux extrêmes est d'autant plus faible que la couche du terrain perméable est plus épaisse et que les eaux cheminent plus longtemps dans leurs rigoles souterraines.

Nous pouvons juger par là que nous n'avons étudié ci-dessus qu'un seul des effets de l'évaporation, celui qui est direct et immédiat; mais il y en a un autre, indirect et cependant très-considérable, qui résulte de ce que l'évaporation modifie la perméabilité du sol. Pour qu'il y ait infiltration, c'est-à-dire écoulement continu des eaux dans les couches profondes, il faut qu'il y ait continuité d'humidité entre la surface et l'intérieur, entre le nuage et la source. Cette condition n'est réalisée qu'en hiver,

lorsque l'évaporation est faible, ou rarement en été, après une série de jours pluvieux.

Toutefois, il faut distinguer ici les terrains très-perméables et les terrains presque imperméables. Les premiers, lorsqu'ils sont secs, boivent avidement les eaux ; mais si la pluie dure peu, l'infiltration reste superficielle et l'eau est aussitôt reprise par l'évaporation. La sécheresse prolongée a donc pour effet de diminuer l'infiltration dans les terrains perméables. Au contraire, les terrains qui sont totalement imperméables quand leur surface est humide, se fissurent et se gercent par la sécheresse ; ils jouissent alors d'une perméabilité relative.

Il faut encore accorder à la pente du terrain un rôle important dans l'infiltration : tel sol absorbe l'eau de pluie sur une surface horizontale et la laisse écouler sur des revers inclinés.

Certaines vallées dont le plafond est d'argile, sont ouvertes dans un plateau perméable ; la rivière, qui en occupe le thalweg, est alors alimentée principalement par des sources qui naissent au pied des coteaux, et le régime de la rivière est très-propre à mettre en évidence le régime des sources. Ces sortes de rivières sont caractérisées par un cours tranquille et surtout par des crues lentes, durables et limpides, à peine troublées qu'elles sont, à leur commencement, par le coup de balai que donne la première averse.

L'Ource, petite rivière du bassin de la Seine, peut

être prise pour type de ce genre de cours d'eau. L'étude que M. Belgrand en a faite l'a conduit aux observations suivantes relatives à l'année 1852 (1):

A la suite d'un printemps très-sec, la rivière baisse lentement; parvenue à l'étiage au mois de mai, elle s'y maintient pendant plusieurs semaines; six jours de pluie à la fin de mai sont sans effet; elle se relève en juin, après six jours de pluie qui donnent 36 millimètres, puis elle baisse de nouveau. Une énorme pluie tombée le 18 juillet ne produit pas de recrudescence. Du 26 juillet au 13 août, il tombe 82 millimètres d'eau sans que le niveau de la rivière change sensiblement. Enfin, une série de jours pluvieux vers la fin d'août, donne 143 millimètres d'eau et détermine une forte crue qui, de même que toutes celles de cette rivière, dure un mois.

Dès que le régime d'hiver est établi, de très-faibles pluies produisent des effets considérables : la hauteur des pluies tombées du 30 octobre au 25 novembre est de 58 millimètres, et cette hauteur a produit une crue plus considérable que les 143 millimètres tombés en août et septembre.

On voit, par ces exemples, que le régime des sources, comme celui des cours d'eau, dépend de l'*évaporation* plus encore que de la pluie.

---

(1) *Belgrand, Annales des ponts et chaussées*, t. I, p. 11.

Le bassin de l'Ource est boisé sur la moitié ou peut-être les trois quarts de sa surface, et d'après cette circonstance, M. Belgrand conclut que les bois sont loin de régulariser le régime des sources. Dans son sens littéral, cette conclusion est rigoureusement exacte : l'Ource a un régime irrégulier, donc les forêts qui l'ombragent ne régularisent pas son cours; mais son régime ne serait-il pas encore plus irrégulier, si l'on déboisait son bassin? Là est véritablement la question.

Tant de circonstances influent sur le régime des eaux, que l'on peut avec certitude affirmer qu'on trouverait plutôt dans le monde deux hommes parfaitement semblables que deux rivières exactement comparables. L'Eure et la Somme ont des bassins déboisés cinq ou six fois plus étendus que celui de l'Ource. Le débit, à l'étiage de ces trois rivières est, *par* 100 ***kilomètres carrés de bassin*** :

Pour l'Eure.	141 litres.
— la Somme.	300
— l'Ource.	219

Ces chiffres semblent indiquer une certaine analogie entre les trois cours d'eau; mais si l'on compare les rapports entre les débits d'étiage et de crue qui sont :

Pour l'Eure.	$\frac{\text{débit de crue}}{\text{débit étiage}} = \frac{90^{mc}}{8} = 11{,}25$
— la Somme.	$\frac{55}{20} = 2{,}75$
— l'Ource.	$\frac{30}{1} = 30{,}00$

on reconnaît que l'Ource est beaucoup plus irrégulière que la Somme et que l'Eure. Faudra-il imputer cette irrégularité aux forêts? Lors même que les bassins seraient également perméables et soumis aux mêmes influences météorologiques, peut-on comparer l'un des plus obscurs affluents de la Seine avec la Somme moitié aussi forte que la Seine elle-même?

La carte de l'état-major fournit les données suivantes pour le calcul des *pentes moyennes :*

Pour la Somme.. $\frac{\text{altitude de la source } 94^{m} - \text{altitude du confluent } 0^{m}}{\text{longueur du thalweg } 170{,}000^{m}} = 0{,}0005$

— l'Eure. . . . . $\frac{238-10}{155{,}000} = 0{,}0015$

— l'Ource. . . . . $\frac{500-150}{70{,}000} = 0{,}0050$

Par l'altitude relativement si grande à laquelle elle prend naissance, on peut déjà juger que l'Ource est soumise à un régime pluvial bien différent de celui de l'Eure et surtout de la Somme ; en outre, la *pente moyenne* de l'Ource étant quatre fois aussi grande que celle de l'Eure et dix fois autant que celle de la Somme, il est tout naturel que les crues de l'Ource soient plus rapides que celles des deux autres rivières. Ces trois bassins ne sont donc nullement comparables, et de ce que l'un des trois est boisé, on ne peut tirer aucune conclusion certaine pour ou contre les forêts.

C'est pour cela que M. Belgrand prend le soin d'entourer de réserves sa conclusion citée ci-dessus. Il rapporte des faits très-précis observés scientifiquement ; mais, dans ce mémoire relatif à l'Ource et ailleurs, il

évite les généralisations et avertit le lecteur qu'il s'est tenu sur un terrain sévèrement localisé. Ses études n'ont d'ailleurs porté que sur des bois feuillus, dans une région peu accidentée et dont l'altitude ne dépasse pas 600 mètres.

M. Conte Grand-Champ, ingénieur en chef, tout en admettant les observations de M. Belgrand, leur oppose des observations contraires faites par lui dans les Basses-Alpes et dans le département de la Loire.

M. Graeff, inspecteur général, que ses beaux travaux sur les canaux et sur le Furens ont mis en contact prolongé avec les cours d'eau, exprime aussi la conviction très-nette que les forêts régularisent le régime des sources (1).

Ce n'est donc pas en comparant des cours d'eau différents que l'on pourra mettre en évidence l'action des forêts. Cette méthode ne peut conduire qu'à un conflit de témoignages contradictoires ; les seuls faits concluants doivent être pris sur un même lieu avant ou après le *déboisement*. Ainsi posé, le problème paraît plus facile à résoudre.

Voici d'abord l'opinion de l'abbé Paramelle, hydroscope célèbre, qui ne prétendait pas découvrir les sources par les mouvements d'une baguette, mais par l'observation raisonnée des circonstances naturelles : « Généralement,

(1) *Revue des eaux et forêts*, 1863, p. 409.

« dit-il, on exagère les effets des forêts, en sorte qu'on « ne doit pas croire qu'un terrain est dépourvu de sour- « ces parce qu'il est peu boisé. *Les déboisements dimi- « nuent sans doute les sources*, mais ils ne les détruisent « pas ou ne détruisent que celles qui sont extrêmement « faibles. »

Une véritable enquête sur ce sujet a été ouverte par la *Revue des eaux et forêts*, et de nombreuses communications ont répondu à son appel. « Nous avons constaté, « dit M. Conte Grand-Champ, que certaines sources qui « avaient cessé de couler après le déboisement ont re- « paru avec la végétation. » D'autres témoins rapportent de nombreux exemples de sources qui ont disparu après le défrichement d'une forêt voisine: un ruisseau qui alimentait des usines est maintenant à sec, etc., etc.

Existe-t-il des observations contraires? A-t-on vu, par exemple, des sources taries par le reboisement ou qui ont apparu après la destruction des forêts?

Si de pareilles observations ont été rapportées, elles constituent certainement une minorité bien faible qui disparaît sous le nombre des témoignages contraires, et l'on peut résumer ainsi, l'enquête ouverte dans la *Revue des eaux et forêts*: *L'action des forêts sur les sources est complexe et diverse; mais les observations les plus nettes, les faits les plus concluants tendent à prouver que, le plus souvent et particulièrement dans les montagnes, les forêts, surtout celles de bois résineux, conservent et régularisent les sources.*

Par quel mécanisme une forêt agit-elle sur les sources? On peut indiquer les causes suivantes:

1° Elle modère l'évaporation superficielle ainsi que nous l'avons constaté dans la première partie de ce chapitre.

2° Elle retarde au printemps la fonte des neiges et oblige l'eau à s'infiltrer lentement pour remplir les réservoirs souterrains, au lieu de courir aux thalwegs. Cet effet est très-sensible dans les régions du Nord et sur les montagnes. En Russie, par exemple, les clairières cultivées sont depuis longtemps libres alors que, dans les forêts, on trouve encore des amas de neige qui reposent sur des mares stagnantes.

3° Dans certains terrains peu perméables, les racines des arbres forment un drainage souterrain qui permet quelquefois à l'eau d'infiltration de pénétrer jusqu'à des couches perméables.

Ce dernier mode d'action a été contesté par le maréchal Vaillant et surtout par M. Vallès, ingénieur en chef des ponts et chaussées. M. Vallès est, d'ordinaire, peu sympathique aux forêts; la vivacité de sa polémique en a même fait le point de mire des écrivains forestiers. Cependant, ses écrits sont très-intéressants pour les esprits qui s'efforcent d'être impartiaux: ils ont le mérite d'être nets, de parler le langage scientifique et d'attaquer résolûment les préjugés.

L'opinion de M. Vallès, sur les sources, peut se résumer

ainsi : *Il faut distinguer les sources profondes et les sources superficielles ; les forêts ont une action favorable sur celles-ci et nuisible sur les premières, qui sont les plus importantes. Les sources, dont certains auteurs signalent la disparition, étaient des sources superficielles. Le sol forestier est une couverture, une sorte de feutre étanche jeté sur le sous-sol ; quand celui-ci est perméable, l'infiltration est diminuée par la forêt. Ce qui le prouve, c'est précisément l'humidité des bois : c'est toujours la même eau qui y séjourne ; si la mousse qui les tapisse est humide, c'est que le soutirage est arrêté* (1).

Cette théorie n'a pas été acceptée sans objection : il est d'abord difficile de comprendre que les forêts qui laissent filtrer l'eau de source lorsque la profondeur du réservoir est petite, l'arrêtent lorsque cette profondeur est grande. — Les sources du mont Ventoux et de Vaucluse sortent de massifs arides et déboisés, — dit M. Vallès. Le fait est incontestable ; mais pourquoi ces montagnes sont-elles dépourvues de végétation ? N'est-ce pas précisément parce qu'elles sont absolument perméables? Qui peut affirmer que la fontaine de Vaucluse n'aurait pas un débit plus considérable si l'ombrage des forêts protégeait les montagnes contre le soleil et contre le mistral desséchant? Pourquoi toutes les sources, et la fontaine de Vaucluse comme les autres, ont-elles leur étiage dans la saison où il tombe le plus d'eau sur les

(1) *Vallès : De l'aliénation des forêts.* (Paris, Dunod, 1865, p. 117.) *Études sur les inondations.* (Paris, Victor Dalmont, 1857, p. 472.)

montagnes, c'est-à-dire en été? c'est apparemment parce que l'évaporation enlève plus d'eau en été qu'en hiver. Or, la forêt est toujours humide, M. Vallès le reconnaît lui-même; donc elle résiste énergiquement à l'évaporation, donc elle atténue la cause qui réduit le plus activement le débit des sources.

Sur les dunes parfaitement perméables d'Arcachon, on peut faire l'observation suivante: si la pluie tombe par grains suivis d'embellies, le sous-sol reste absolument sec dans les parties découvertes, tandis que, sous l'ombre des pins, le sable profond devient manifestement humide.

Au contraire, si l'on pratique une tranchée verticale dans un terrain argileux imperméable, on voit fréquemment ceci: la couche superficielle de terre végétale est noire, et les eaux d'infiltration, entraînant cette terre dans les étroites fissures du sous-sol, dessinent des lignes sombres, ramifiées comme le chevelu des racines. C'est qu'en effet, lorsqu'on regarde de près, l'on voit que ces lignes suivent les racines des végétaux; elles descendent d'autant plus bas que le végétal est plus puissant, ce qui prouve que ces fissures ont suivi les racines et ne les ont pas précédées.

Les végétaux tassent le sol, — dit encore M. Vallès, — lorsqu'on plante un arbre, on piétine tout autour (1).

(1) *Vallès : De l'aliénation des forêts*, p. 110.

Oui, mais piétine-t-on autour des arbres d'une forêt, et ne voit-on pas, au contraire, dans certaines ruines, qu'une racine suffit pour disjoindre une muraille? Les végétaux ne tassent donc pas toujours le sol; quelquefois ils le soulèvent, mais toujours ils le consolident : les racines sont comme les mailles d'un filet : elles laissent passer l'eau et retiennent les corps que celle-ci entraîne.

Dans un passage où M. Vallès malmène fort les aveuglements de la critique, il prétend faire décider la question par un manouvrier auquel on donnerait le choix de piocher une égale surface de terre labourée ou de forêt. Sans doute cet homme n'hésiterait pas; mais de ce que la forêt d'Arcachon, par exemple, où les pins entrelacent leurs racines dans le sable, serait plus difficile à piocher qu'une argile défoncée par la charrue, s'ensuit-il qu'elle soit moins perméable ?

M. Vallès fait encore remarquer (1) que, par la culture, le sol est ameubli et disposé en sillons horizontaux, véritables réservoirs préparés pour la pluie, et que, sur un pareil sol, les eaux trouvent des circonstances plus favorables à l'infiltration que sur le feutre, supposé imperméable, qui s'étend sous les bois.

Cette observation est très-juste; cependant, examinons encore et n'oublions pas de tenir compte de l'évaporation dont le rôle, il faut le répéter sans cesse, est prépondérant sur les sources comme sur les cours d'eau. La

(1) *Vallès : Études sur les inondations*, p. 462.

saison d'été est la seule qui nous intéresse, car, en hiver, il y a de l'eau pour tous, pour les cours d'eau et pour les sources; pour les champs et pour la forêt; il y en a même en excès... Mais que se passe-t-il en été ?

On a mesuré la quantité d'eau d'imbibition que différentes natures de sol peuvent retenir; on a trouvé des chiffres variant de 150 à 600 kilogrammes par mètre cube (1). Le terreau des forêts, avec une densité égale à 1.225, retient 1.99 de son poids d'eau (*Gasparin*); il suit de là qu'une couche de 10 centimètres de terreau saturée et gonflée par l'humidité pourrait retenir une tranche pluviale de 24 centimètres, soit la moitié de la pluie qui tombe en un an à Paris (2).

Ces chiffres admis, supposons qu'un mètre carré de sol ameubli par la culture et parfaitement desséché par le soleil vienne à être mouillé par la pluie sur 20 centimètres de profondeur; il pourra retenir 100 kilogrammes d'eau, soit une tranche pluviale de 10 centimètres, ce qui représente déjà une forte pluie. Mais si l'évaporation enlève cette masse d'eau, ce qui lui est facile comme nous l'avons constaté, que restera-t-il pour les sources? Rien. Au contraire, dans la forêt, l'humus formé de détritus végétaux étant toujours saturé d'humidité, il arrivera que la pluie tombant sur ce sol, fût-elle moindre que celle qui tombe sur la terre cultivée, passera à travers; le contact s'établira entre la pluie et l'humidité souter-

(1) *Duponchel : Hydraulique agricole*, p. 16.
(2) *Revue des eaux et forêts*, 1867, p. 164.

raine; par suite, l'eau, semblable à l'électricité atmosphérique, s'écoulera directement des nuages dans le réservoir des sources.

Dans ces circonstances, le déboisement pourra tarir la source, tout en rendant la surface du sol plus perméable. Ce fâcheux résultat sera d'autant plus prompt si la forêt détruite livre cette terre ameublie en proie aux pluies torrentielles. Si, à la place de ce feutre forestier prétendu imperméable, on voit apparaître des ravins découpés à vif, dans le sous-sol, suivant les lignes de plus grande pente et précipitant la moindre averse vers les thalwegs, que deviendront alors les sources? Elles tariront, et de nouvelles doléances pourront être ajoutées à tant d'autres.

Cet exemple est particulièrement intéressant pour nous, parce qu'il se reproduit fréquemment dans les montagnes et surtout dans le domaine des torrents, où l'observation fournit d'ailleurs la contre-épreuve. Qu'est-ce que ces ruisseaux qui sortent pendant l'été du bassin d'un ancien torrent des Hautes-Alpes éteint par le boisement (1), sinon la meilleure preuve que, même sous le climat le plus sec de France, même dans les conditions les moins favorables à la formation des sources, puisque la pente des versants est énorme tandis que le sous-sol liasique est à peu près étanche, les forêts peuvent encore emmagasiner les eaux du ciel et les répartir entre les saisons?

---

(1) *Surell*, chap. XXIV.

Pour résumer ce qui précède nous admettrons que, *dans la plupart des cas et sauf des circonstances spéciales, l'action des forêts sur l'*ÉVAPORATION *et sur l'*INFILTRATION *est de nature à augmenter le produit de la pluie, c'est-à-dire la part de la nappe pluviale qui profite aux cours d'eau* (1). — *Ce double effet tend surtout à se produire en été c'est-à-dire dans la saison où l'eau courante est la plus précieuse.*

Il nous faut maintenant étudier le *ruissellement* des eaux pluviales : c'est la troisième partie de notre sujet actuel, et son importance mérite qu'un chapitre spécial lui soit consacré.

---

(1) L'Australie, comme l'Afrique australe, présente de vastes plateaux, dont le régime pluvial est très-irrégulier et que l'évaporation dessèche; de là des cours d'eau rares et irréguliers : « Le « malheur de l'Australie, c'est le manque d'eau; le docteur Muller « veut y remédier : il consacre à ce but presque tous les fonds du « Jardin botanique (de *Melbourne*), et il y réussit. Il répartit dans « l'intérieur des millions d'arbustes nés dans ses pépinières; de « petits ruisseaux se forment rapidement sous ces jeunes bois; « ces résultats sont superbes déjà, et chaque année on les a par- « faitement constatés. Sur des terres nues, il a créé, en plus d'une « centaine de points, des bois et des cours d'eau. » (*Le comte de Beauvoir : Voyage autour du monde*, chap. x). Comment ces plantations ont-elles agi? Est-ce en protégeant la nappe pluviale contre l'*évaporation*? Est-ce en facilitant l'*infiltration* et la formation des sources? Probablement ces deux effets se sont produits simultanément. Cette observation est très-intéressante, parce qu'elle porte sur une même région considérée avant et après le *boisement*.

CHAPITRE V.

LES FORÊTS ET LES COURS D'EAU.

Ruissellement.

La théorie de l'écoulement des liquides est une des branches les plus délicates de la physique; elle constitue à elle seule une science spéciale qui est à l'hydrologie ce que la science de la vie est à l'histoire des êtres vivants. L'hydraulique étudie *le cours de l'eau* et l'hydrologie *le cours d'eau;* le point de vue hydrologique est le seul qui entre dans notre cadre.

Considérons un fleuve tout formé; où est sa source? Il n'en a pas, ou plutôt il en a un nombre infini distribuées sur le périmètre de son bassin. La principale n'est souvent qu'un obscur sillon caché dans l'herbe.

Quand la pluie tombe sur les pentes supérieures du bassin, une goutte s'ajoute à l'autre et chemine lentement, arrêtée par chaque grain de sable, jusqu'à ce qu'elle arrive à ce premier sillon, origine du thalweg; puis le sillon devient chenal et l'eau, rassemblée en quantité notable, accélère sa vitesse lors même que la pente di-

minue. Cette accélération résulte de ce que le frottement de l'eau sur elle-même est moindre que celui de l'eau contre la terre.

Le ruisseau, dans sa descente, s'enfle de tous les ruisseaux affluents et se précipite au fond de la vallée. Dès ce moment, il forme un cours d'eau, il participe à toutes les propriétés des rivières et peut nous aider à découvrir les lois qui les gouvernent, car, pour la nature, les mots *petit* et *grand* n'ont pas de sens : le brin d'herbe jette son ombre comme la montagne.

Un premier point sur lequel il importe d'insister avant de faire un pas de plus, c'est que, quelle que soit la pente des versants, la nappe pluviale ne prend une vitesse sensible qu'au moment où l'eau commence à s'assembler dans les sillons, les rigoles ou les ravins. Jusque-là, elle ne coule pas, elle se traîne. Pour qu'il y ait *courant* et *vitesse*, il faut qu'il existe un réservoir incliné ou *thalweg*.

« Les eaux qui tombent dans nos champs ne forment « que peu de ruisseaux; mais celles qui tombent sur les « toits des maisons et qui sont recueillies dans les gout- « tières forment à l'instant de petits cours d'eau (1). »

Quelle surface est plus unie que le verre et quelle pente est plus forte que la verticale? Cependant l'œil suit sans peine, sur les carreaux de vitre, la descente d'une

(1) *Lettre de l'Empereur Napoléon III* (juillet 1856).

averse d'orage, tandis que dans un canal régulier, incliné seulement au dixième, l'eau filant comme une flèche échappe au regard (1).

Cette observation est importante, parce qu'elle rend compte du véritable rôle des forêts dans l'écoulement des eaux pluviales. Ce n'est point tant par une *action directe* exercée sur toute la surface du sol qu'elles occupent, c'est principalement parce qu'elles empêchent le creusement des rigoles où les eaux s'assemblent, c'est parce qu'elles s'opposent au *ravinement* que les forêts retardent le *ruissellement* et maîtrisent les eaux torrentielles. Ce point est certain; il est à l'abri de toute objection : il se vérifie dans toutes les circonstances de sol, de pente, de climat; hors de ce point unique, tout n'est que doute, et l'on doit encore s'arrêter aux distinctions locales et peser des témoignages contradictoires.

Cependant, l'opinion que les forêts retardent, par une *action directe*, l'écoulement de la nappe pluviale à la surface du sol est si répandue, qu'on éprouve un véritable étonnement la première fois qu'on rencontre l'opinion contraire.

---

(1) Une goutte d'eau isolée reste suspendue verticalement sans tomber; on voit même une masse d'eau précipitée en cascade se ralentir dans sa chute, à mesure que l'air la divise : si la hauteur du précipice est grande, le ruisseau complétement arrêté en l'air se change en un léger nuage que le vent promène et que l'arc-en-ciel colore. — Tous ces faits confirment cette conclusion que, *quelle que soit la pente, l'eau n'acquiert et ne conserve de la vitesse qu'à la condition d'acquérir et de conserver de la masse.*

« J'ai longtemps partagé, » dit M. Belgrand, « l'avis de « ceux qui attribuent aux forêts une influence modéra- « trice considérable dans les phénomènes de l'écoule- « ment des eaux pluviales à la surface du sol. »

« Dans ces dernières années, des faits très-positifs ont « modifié ma manière de voir, et j'ai cru devoir exprimer « l'opinion que, dans une région médiocrement mon- « tueuse, comme le bassin de la Seine, par exemple, le « reboisement n'aurait pas pour résultat la régularisa- « tion du régime des rivières (1). »

Devant cette déclaration sincère et prudemment localisée de l'homme qui a fait faire le plus de progrès à l'hydrologie, il est évident que la question n'est pas aussi simple qu'on est d'abord porté à le croire : tantôt positive et tantôt négative, l'action des forêts accélère ou retarde l'écoulement suivant les circonstances locales.

Il est aisé de se rendre compte de ces effets contradictoires. Posons d'abord nettement le problème. Les mots *accélérer* ou *retarder* sont des *comparatifs*, c'est-à-dire qu'ils supposent qu'on rapporte l'action des forêts à quelque terme de comparaison; malheureusement on néglige d'ordinaire de définir ce terme, et de là résulte une confusion très-fâcheuse.

La proposition suivante formulée dans sa généralité : *Les forêts retardent, à la surface du sol, l'écoulement de la*

(1) *Belgrand : Annales des ponts et chaussées*, 1854, t. I, p. 1.

nappe pluviale, est une formule vide de sens; mais si, par exemple, on pose ainsi la question :

L'eau pluviale s'écoule-t-elle plus vite sur un revers boisé ou sur un toit d'ardoise de même pente?

La réponse ne saurait être douteuse. Par suite, dans les Hautes-Alpes, où le *bassin de réception* des torrents est souvent un véritable entonnoir creusé à vif dans le schiste ardoisier avec des pentes et des surfaces tout à fait comparables à celles d'un toit, personne ne voudra prétendre que les *combes* (1) boisées, où les torrents s'éteignent, ne retiennent pas l'eau plus longtemps que les *combes* nues et glissantes, où se produisent les crues foudroyantes décrites par M. Surell.

Mais la question peut se poser inversement :

L'eau pluviale s'écoule-t-elle plus vite sur un revers boisé ou sur un terrain ameubli et cultivé par sillons horizontaux qui brisent fréquemment la pente?

Ici encore on n'hésite pas. L'humus des forêts, tapissé de mousse et partiellement saturé d'humidité, favorisera l'écoulement de même qu'il favorise *l'infiltration*, car ces deux opérations ne sont, au fond, qu'une seule et même chose, à savoir : le mouvement de l'eau obéissant à la pesanteur.

---

(1) Dans les Hautes-Alpes, le mot *combes* désigne spécialement les ravins rapides creusés par un torrent dans son *bassin de réception*. — Voyez Surell, note de la page 16.

Sur les bords du Rhin, au nord de Mayence, le raisin ne vient à bien que sur les pentes convenablement exposées; aussi n'est-il pas rare de voir une même colline partagée entre les forêts et les vignobles; ceux-ci occupant le versant sud et les forêts le versant nord. Ces vignes sont cultivées en terrasses avec des murs très-soignés qui ne permettent pas le ravinement. Si l'on vient à mesurer, au pied du coteau, la quantité d'eau pluviale écoulée par une même surface de versant, nul doute que l'avantage ne soit du côté de la forêt, et cela d'autant plus que la vigne, tournée vers le midi, est soumise à la plus forte évaporation (1).

Ces deux exemples si différents, les combes des Alpes et les collines du Rhin, sont comme deux limites extrêmes entre lesquelles on peut imaginer tous les degrés intermédiaires où l'influence des forêts sera positive ou négative, forte ou faible.

Mais, dans le dernier exemple, il suffit d'un changement, en apparence peu important, pour renverser la conclusion : imaginez que la forêt soit remplacée, après défrichement, non plus par des vignes soigneusement entretenues, mais par un champ labouré qu'on abandonne au ravinement. Dans les premiers temps, le

(1) M. de Saint-Clair signale que, dans certains vallons du bassin de l'Eure, les progrès du défrichement, la multiplication des labours et, en outre, les précautions prises pour barrer les rigoles érosives, ont eu pour effet de régulariser les petits cours d'eau, autrefois torrentiels, et même en partie celui de l'Eure. (*Annales des ponts et chaussées*, 1857, t. I, p. 207.)

champ, par ses sillons horizontaux, *retarde* l'écoulement des eaux pluviales; mais, bientôt des rigoles se forment suivant la ligne de plus grande pente, la terre peu à peu est emportée, le sous-sol imperméable est mis à nu, des ravins se creusent, et ce revers qui, le lendemain du défrichement, *retardait* le ruissellement, *l'accélère* maintenant et contribue, autant qu'il dépend de lui, à inonder la vallée.

Les vieillards, se rappelant l'ancien état de choses, pourront dire alors comme leçon de leur expérience : la forêt retardait l'écoulement des eaux pluviales. Et ils auront raison, pourvu qu'ils ne généralisent pas cette observation et qu'ils prennent soin de définir leur mot *retarder*. Ce n'est pas seulement parce qu'elle arrêtait l'eau, c'est surtout parce qu'elle retenait la terre et s'opposait au ravinement que la forêt agissait ainsi. Nous serons fréquemment ramenés à ce point de vue dans la suite de ce chapitre.

Ces distinctions étant bien comprises, donnons quelques *espèces* choisies parmi celles qui ont été le plus controversées.

Voici d'abord les expériences de M. Belgrand, les premières parmi les essais de ce genre auxquelles on puisse reconnaître un caractère scientifique. Il faudrait pouvoir citer en entier ces mémoires si intéressants où les phénomènes sont clairement décrits d'après nature (1); mais, comme ils ont fourni des arguments aux

(1) *Annales des ponts et chaussées*, 1846, t. II. — 1852, t. I — 1854, t. I.

partisans et aux adversaires du déboisement, il sera plus expéditif pour nous de mettre en présence deux champions de l'un et de l'autre camp; par exemple, M. Vallès et M. Dubois de Jubainville.

Le premier s'exprime ainsi (1):

« Dans le but d'éclairer la question qui nous occupe « par des études directes, M. Belgrand a fait mesurer « journellement, de novembre 1850 à mai 1853, les dé- « bits du *Cousin* et du *ru de la Grenetière*, qui est un « de ses affluents. L'un et l'autre de ces bassins sont « formés de terrains granitiques imperméables et de « même nature, mais le premier n'est boisé que sur un « tiers de sa superficie, tandis que le second est entière- « ment couvert de bois; or, malgré cette grande diffé- « rence au point de vue de l'état forestier, les résultats « ont été les mêmes de part et d'autre; ces résultats sont « représentés graphiquement dans le mémoire de M. Bel- « grand; leur similitude, leur parfaite concordance « sont ainsi mises en relief, et il n'est personne qui, de « l'inspection de ces tableaux, ne déduise avec l'auteur « les conséquences suivantes :

« Le régime des deux cours d'eau est identiquement « le même, quoique leurs bassins soient très-inégalement « boisés. »

« L'eau suit la même marche ascendante ou descen-

(1) *Vallès : Études sur les inondations*, p. 449 et suiv.

« dante dans les pluies ou dans les sécheresses, en hiver « et en été; ils ont tous deux un régime de basses eaux « d'hiver beaucoup plus abondant que celui d'été.

« Une forte pluie d'hiver produit dans les deux bassins « une crue subite plus ou moins élevée, mais très-courte, « suivie d'une longue crue moyenne; la partie courte « et élevée correspond au même jour dans les deux « figures. »

« Les divers détails qui concernent les écoulements « d'eau sont donc exactement les mêmes dans les deux « cas, et cependant tout est forêt dans l'un, tandis que « dans l'autre deux tiers de la superficie sont à dé- « couvert. »

« M. Belgrand a procédé à des expériences plus ca- « ractéristiques encore, et desquelles il résulte même « que ce n'est pas sur les terrains boisés, mais sur les « autres, qu'on observe le plus de régularité dans les « écoulements.

« Il a choisi, à cet effet, deux bassins imperméables « l'un et l'autre; le premier complétement boisé, celui « *de la Grenetière;* le second entièrement dénudé, celui « *du Bouchat*. Il a étudié séparément, et pour les mêmes « jours, ce qui se passe sur ces bassins, d'abord pendant « la période des sécheresses, soit d'été, soit d'hiver, en « second lieu, pendant les temps pluvieux de ces deux « saisons.

« Nous ne donnerons pas ici le détail des observa-

« tions jour par jour ; il nous suffira d'en présenter un « résumé qui en fera ressortir les conséquences. Voici « d'abord les résultats obtenus pendant les deux périodes « de sécheresse et pour les moments où il n'a pas plu.

ÉPOQUES.	NOMBRE de jours d'observation dans chaque mois	DÉBIT MOYEN par seconde et par kilomètre carré pendant la durée des expériences	
		« Ruisseau de Grenetière entièrement boisé.	Ruisseau du Bouchat entièrement déboisé.
Régime d'hiver en temps sec.			
Décembre 1851..	6	10lit.,30	11lit.,75
Mars 1852. . . .	5	8 , »	5 ,68
Avril 1852. . . .	7	6 ,50	7 ,24
Moyenne de l'écoulement pour toute la durée des observations.		8 ,18	8 ,31
Régime d'été en temps sec.			
Septembre 1851.	6	0 ,87	1 ,60
Juillet 1852.. . .	6	1 ,17	0 ,07
Moyenne de l'écoulement pour toute la durée des observations.		1 ,02	0 ,83

« Il ressort très-évidemment de ce tableau qu'il y a « parité presque complète dans les deux bassins ; les « moyennes des écoulements dans chaque saison sont « sensiblement égales, *toutefois on peut constater une*

« *légère différence favorable, au point de vue de la régu-*
« *larité, au bassin boisé, dont le régime d'hiver est huit*
« *fois plus grand que celui d'été, tandis que dans l'autre*
« *bassin le rapport est décuple. Mais il ne s'agit ici que*
« *d'un très-petit écart.*

« Si maintenant nous comparons les régimes d'hiver
« et d'été en temps pluvieux, nous obtiendrons les ré-
« sultats consignés dans le tableau suivant.

« Nous rappelons que, dans chaque mois, non-seu-
« lement les observations faites sur les deux bassins
« sont en nombre égal, mais qu'en outre elles ont eu
« exactement lieu aux mêmes jours.

ÉPOQUES.	NOMBRE DE JOURS d'observation dans chaque mois.	RUISSEAU DE GRENETIÈRE bassin boisé.		RUISSEAU DU BOUCHAT bassin non boisé.	
		Sommes des pluies pour chaque mois.	Moyennes des débits par seconde et par kilom. carré.	Sommes des pluies pour chaque mois.	Moyennes des débits par seconde et par kilom. carré.
Régime d'hiver en temps pluvieux.					
		mm	lit.	mm	lit.
Février 1852. .	14	42,2	61,63	51,3	53,57
Novembre 1852.	5	28,8	95,66	36,6	62,48
Janvier 1853. .	10	35,4	74,62	92,0	50,76
Sommes pour les pluies et moyennes pour les débits.		106,4	71,97	180,9	53,79
Régime d'été en temps pluvieux.					
Septembre 1851	5	27,1	5,42	43,8	6,22
Mai 1852. . . .	4	20,9	3,45	13,2	3,62
Juin 1852. . . .	9	56,3	14,99	55,5	9,01
Juillet 1852. . .	3	22,8	2,00	19,5	1,77
Septembre 1852	6	22,8	11,83	26,5	15,88
Sommes pour les pluies et moyennes pour les débits.		149,9	9,36	158,5	8,42

« Les indications que nous allons déduire de ce ta-
« bleau seront concluantes.

« Et d'abord, on remarquera que, pour des durées

« égales, soit en hiver, soit en été, les quantités de « pluie recueillies ont toujours été plus considérables, « non-seulement dans leur ensemble, mais encore « dans presque tous leurs détails, sur le bassin du *Bou-* « *chat*, que sur celui de la *Grenetière*, c'est-à-dire sur « les terrains dénudés, que sur les terrains couverts. Ce « nouveau fait vient donc s'ajouter à tous ceux que nous « avons déjà produits pour prouver la vérité de notre « conclusion, que les forêts diminuent plutôt qu'elles « n'augmentent la quantité de pluie annuelle (1).

« En second lieu, si on compare chaque débit moyen « à la pluie correspondante, on trouvera que, pour « chaque millimètre de hauteur de pluie tombée, il a « coulé, savoir :

« Par le ruisseau de *Grenetière* :

« En hiver.	$0^{lit},679$
« En été.	0 ,062

(1) Cette explication est très-contestable. Le ruisseau de la *Grenetière* et le ruisseau du *Bouchat* sont deux affluents du *Cousin* qui coule du sud au nord; le premier tombe sur la rive gauche, il coule par conséquent de l'ouest à l'est; le second tombe sur la rive droite et coule de l'est à l'ouest. On voit que, par cette disposition, le vallon du *Bouchat* est ouvert au vent d'ouest; le courant pluvial remonte ce vallon, tandis qu'il descend celui de la *Grenetière*. Nous avons vu (*chap. III*) que cette circonstance est d'une grande importance : elle suffit à expliquer l'excès de pluie qui tombe dans le vallon du *Bouchat* sans qu'on ait à recourir à l'influence problématique des forêts.

« Par le ruisseau du *Bouchat :*

« En hiver. . . . . 0^{lit},299
« En été. . . . . 0 ,053

« Il n'y a donc pas une très-grande différence entre « les régimes d'été des deux ruisseaux, et, à cet égard, « ces nouvelles observations conduisent à la même « conséquence que les précédentes.

« Mais la différence devient énorme, elle dépasse la « proportion du double, lorsqu'on établit la comparai- « son entre les régimes d'hiver des deux cours d'eau. « Cette différence est d'ailleurs toute favorable, au « point de vue de la régularité des écoulements, au « ruisseau de *Bouchat;* d'où il faut conclure que si, « en été, c'est-à-dire de mai à septembre, les amon- « cellements de liquide ne sont pas plus à craindre « dans un bassin que dans l'autre, il n'en est pas de « même, à beaucoup près, dans le semestre compris « d'octobre à mai, c'est-à-dire dans celui pendant « lequel se produisent les plus redoutables inondations; « dans ce cas, les bassins boisés ont un désavantage « très-prononcé.

« Finalement, les effets comparatifs des pluies d'hiver « et d'été dans le bassin boisé de la *Grenetière* sont tels « qu'ils fournissent respectivement des débits qui sont « entre eux dans le rapport de 679 à 92, ou de 11 à « l'unité, tandis que, pour le bassin déboisé du *Bouchat*, « ce rapport devient celui de 6 à 1.

« On peut donc dire que l'irrégularité des écoule-
« ments entre la saison chaude et la saison froide varie
« du double au simple, suivant que les versants sont
« boisés ou ne le sont pas.

« Ainsi, non-seulement ce principe si souvent répété
« dans le public, si généralement admis par lui, que les
« forêts jouissent de la propriété d'équilibrer les écoule-
« ments des deux saisons, n'est pas exact, mais l'expé-
« rience vient nous démontrer que c'est tout le contraire
« qu'il faut croire; qu'en conséquence, au point de vue
« du mouvement des eaux à la surface de la terre, la dis-
« parition des forêts a été chose utile, et que le reboise-
« ment si souvent et si énergiquemeut demandé, ne
« serait qu'une funeste opération. »

Telles sont les conclusions de M. Vallès. L'ami des forêts répond en ces termes (1) :

Première observation. — La Grenetière et le Cousin.

« M. Belgrand étudie le régime des deux cours d'eau
« alimentés, l'un par un bassin peu boisé, l'autre par un
« bassin très-boisé, à savoir : 1° de la *Grenetière*, ruis-
« seau dont les versants sont granitiques, imperméables,
« entièrement boisés à 1 ou 2 hectares près, et occupent
« une superficie de $2^{k.q.},5$; 2° du *Cousin*, rivière dont le
« débit est au moins régularisé par les nombreux étangs

(1) *Revue des eaux et forêts*, 1866, p. 65.

« du Morvan (1) et dont les versants également granitiques s'étendent sur une superficie de 336 kilomètres « carrés et sont boisés seulement au tiers.

« Il constate que ces deux cours d'eau ont un régime « identique, bien que leurs bassins soient très-inégalement boisés; et il en conclut la nullité de l'influence « des forêts sur le régime des eaux.

« Examinons si cette conclusion est acceptable. D'un « côté, le régime du *Cousin* est amélioré par des étangs « qui manquent à la *Grenetière*. D'un autre côté, la rivière « du *Cousin* a un bassin cent trente-quatre fois plus « étendu que celui du ruisseau de la *Grenetière;* d'où « résulte que la rivière devrait jouir d'un régime beaucoup plus régulier que celui du ruisseau, suivant les « expériences de M. Belgrand lui-même (2), qui a « reconnu que la surface nécessaire du débouché d'un « pont diminue par kilomètre carré du bassin d'un cours « d'eau en amont avec l'augmentation de ce bassin, et « qui pose en loi (3) que la crue torrentielle d'un grand « cours d'eau à versants imperméables se compose non

(1) « Dans son article de 1854, M. Belgrand ne parle pas de ces « nombreux étangs; mais comme, dans un précédent article (*Annales des ponts et chaussées*, 1846, 2e semestre, p. 152), il dit que, « lors des années sèches, le Cousin cesserait de couler s'il n'était « alimenté par les nombreux étangs du Morvan, nous pensons « que ces nombreux étangs ne sont pas à négliger dans la présente « discussion, et nous réparons l'omission de l'adversaire du reboisement. »

(2) « *Annales des ponts et chaussées*, 1846, 2e semestre, notes. »

(3) « *Annales des ponts et chaussées*, 1852, janvier et février, p. 29. »

« pas de la somme, mais seulement de la succession des « crues torrentielles des affluents qui passent les unes « à la suite des autres. Ainsi, sans étang, et à bassin « cent trente-quatre fois plus petit que celui de la rivière « du *Cousin*, le ruisseau de la *Grenetière* devrait être « affecté d'un régime beaucoup plus inconstant que « celui de son congénère, et pourtant ces deux cours « d'eau ont un régime identique ! Ce phénomène re- « marquable s'explique par les forêts qui protégent la « *Grenetière*, et nous donne une preuve sûre de l'heu- « reuse influence des forêts sur les cours d'eau, la même « où M. Belgrand avait cru voir la démonstration de « l'inanité de cette influence.

Deuxième observation. — La Grenetière et le Bouchat.

« L'infatigable M. Belgrand compare le débit jour- « nalier, par seconde et par kilomètre quarré, de la *Gre-* « *netière* et celui du *Bouchat*, en tenant compte des « pluies qui alimentent ces deux cours d'eau. La *Gre-* « *netière* est le ruisseau à versants de formation grani- « tique, boisés et de $2^{k.q.},5$ de superficie, qui a déjà été « mis en parallèle dans la première observation. Quant « au *Bouchat*, c'est un cours d'eau à versants déboisés, « et dont le bassin occupe $20^{k.q.},75$, à savoir : $17^{k.q.},75$ « de terrains liasiques et supra-liasiques, et 3 kilomètres « quarrés de terrains oolithiques. Comme sur ces terrains « oolithiques, il ne coule jamais une goutte d'eau, « M. Belgrand a cru devoir les négliger, et, dans tous « ses calculs, il a admis que la superficie du bassin du « *Bouchat* n'était que de $17^{k.q.},75$.

« De cette manière, il constate que, par seconde et « par kilomètre quarré, ces deux ruisseaux ont un débit « journalier identique, si ce n'est que la *Grenetière* « aurait un débit maximum un peu moins élevé que « celui du *Bouchat*, un débit minimum un peu moins « faible, et enfin un débit moyen un peu plus fort, quoi- « qu'elle reçoive moins de pluie que le *Bouchat*. Toute- « fois, comme il y a une très-grande analogie dans les « lois qui régissent les variations de débit de ces deux « ruisseaux, bien que l'un soit protégé par des forêts, « tandis que l'autre en est privé, M. Belgrand en con- « clut l'impuissance des forêts à régulariser le régime « des cours d'eau.

« Voyons si ce raisonnement serait mieux fondé que « celui de la première observation.

« La *Grenetière* sort d'un bassin sept ou huit fois « moindre que celui du *Bouchat*, et par suite devrait « avoir un débit plus inconstant que ce dernier cours « d'eau, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut.

« La *Grenetière* est alimentée par des versants grani- « tiques. Or, M. Belgrand (1) nous apprend que, sur le « granit, les cours d'eau ont un débit des plus variables, « parce que d'une part la terre y étant généralement « sablonneuse ne peut retenir les eaux pluviales qui « descendent ainsi très-promptement aux thalwegs;

(1) « *Annales des ponts et chaussées*, 1846, 2e semestre, p. 140, 141 « et 151; 1852, janvier et février, p. 23. »

« et que, d'une autre part, les sources y étant superfi-
« cielles, consistant en suintement entre les mousses,
« les herbages et les fissures des rochers, s'enflent à la
« moindre pluie, tarissent après une sécheresse un peu
« longue et communiquent leur régime complétement
« anormal aux ruisseaux qu'elles produisent.

« Le *Bouchat*, au contraire, est alimenté par des
« versants liasiques et supra-liasiques (1), lesquels, très-
« argileux et ameublis par une riche culture, absorbent
« d'abord toute l'eau pluviale ; puis, quand la pluie per-
« siste, laissent, il est vrai, s'écouler à leur surface une
« partie : 1° à leur contact avec le granit; 2° dans le
« calcaire à *gryphées arquées*, à la base duquel (2) se
« trouve souvent un magnifique niveau de sources;
« 3° dans le calcaire à *gryphées cymbium* des marnes
« supra-liasiques. Les sources provenant de ces nappes
« d'eau ont un régime ordinairement très-régulier.
« En outre, le bassin du *Bouchat* possède 3 kilomètres
« quarrés de terrains oolithiques, filtres puissants qui dé-
« posent l'eau pluviale à leur base, d'où souvent elle
« s'épanche sous forme de sources à débit peu capri-
« cieux. M. Belgrand ne tient pas compte de ces terrains
« oolithiques, parce que, dit-il, l'eau ne coule pas à
« leur surface. Assurément, ce motif est insuffisant,
« lorsqu'il s'agit de comparer non pas seulement le

---

(1) « *Belgrand: Annales des ponts et chaussées*, 1846, 2e semestre,
« p. 140, 141 et 150. »

(2) « *Levallois*, inspecteur général des mines: *Aperçu géologique*.
« 1852, p. 31. »

« débit maximum de deux bassins, mais encore leur « débit minimum.

« Enfin, le relief des deux bassins mis en parallèle « doit différer encore plus que leur nature géologique. « En effet (1), M. Belgrand a reconnu que dans les vallées « granitiques du Morvan les cours d'eau ont une vitesse « trois fois plus grande que dans les vallées liasiques « des environs, parce que les premières offrent des « pentes beaucoup plus rapides. C'est encore là une « puissante cause d'irrégularité pour le régime du « ruisseau granitique.

« Ainsi, le bassin de la *Grenetière* étant huit fois plus « petit que celui du *Bouchat*, paraissant un peu moins « favorisé par sa nature géologique, et se composant de « versants beaucoup plus inclinés, devrait donner plus « d'irrégularité au cours d'eau qu'il alimente. Néan- « moins, la *Grenetière* possède un débit qui n'est nulle- « ment plus irrégulier que celui du *Bouchat*. Évidem- « ment, ce résultat est dû à l'épais manteau de forêts « qui abrite la *Grenetière*, tandis que le *Bouchat* est « dépouillé d'ombrages.

Le lecteur sans parti pris et qui n'a pas vu les lieux reste fort embarrassé en présence de ces convictions également sincères, également absolues, mais parfaite- ment contradictoires. La morale de ce débat, c'est qu'il

(1) « *Annales des ponts et chaussées*, 1846, 2e semestre, p. 137. »

n'existe pas deux cours d'eau comparables, et que pour résoudre la question qui nous occupe, il faut comparer non pas deux bassins, mais deux états du même bassin avant et après le défrichement ou le reboisement.

Un coup d'œil sur la carte de l'état-major (1) ou sur la carte géologique confirme cette manière de voir. Avallon est au point même où le terrain jurassique et le granit sont en contact; le *Cousin* coule sur le bord du plateau granitique; ses affluents de la rive gauche (*Grenetière*) sont dans le granit; ceux de la rive droite (ruisseau du *Bouchat*) sont dans le terrain jurassique; le modelé du terrain sur l'un et l'autre bord, les pentes des versants diffèrent plus encore que les cultures. Ces pentes sont beaucoup plus rapides du côté de la *Grenetière*, qui coule au fond d'un ravin en forme de V, que du côté du *Bouchat*, qui s'étend sur le plat-fond d'une cuvette.

Quant au *Cousin* lui-même, il n'est nullement comparable à ses affluents: la pente moyenne du ruisseau de la *Grenetière* et celle du *Bouchat*, autant du moins qu'on en peut juger d'après la carte, sont voisines de 0,025; celle du *Cousin*, sur les 30 kilomètres en amont d'Avallon, ne doit pas dépasser beaucoup 0,006, c'est-à-dire qu'elle est quatre fois moindre que celle de ses affluents. Cette différence seule, sans parler des étangs, justifie un régime plus constant pour le *Cousin*. Quand il s'agit des mouvements de l'eau, l'élément qui domine tous les autres, c'est la pente.

---

(1) *Feuille* n° 111. — *Avallon*.

Néanmoins, il faut reconnaître que pendant longtemps la question de l'écoulement des eaux dans les forêts n'a été pour chacun de nous qu'une affaire d'imagination : il paraissait si naturel de croire que mille brins d'herbe ou de mousse, c'est-à-dire mille obstacles opposés sur chaque mètre de pente à la goutte d'eau qui descend, et mille troncs d'arbre par kilomètre mis en travers du filet qui ruiselle, devaient retarder sa course, qu'on n'a pas cru qu'il fût nécessaire de procéder à quelque vérification et qu'on s'est exagéré l'action retardatrice des forêts. Les expériences de M. Belgrand ont montré que le problème est moins simple et qu'il mérite une étude attentive; mais ces expériences, dont l'auteur a soin de localiser la portée, n'autorisent pas les conclusions générales et absolues que voici (1) :

« Nous avons dit, dans de précédents écrits, que la « couche superficielle des bois est plus ferme et plus « compacte que celle des champs; nous avons ajouté « qu'au moment de la pluie, le sol *battu* des forêts doit « accélérer la vitesse des eaux coulant à la surface.

« On a prétendu qu'au contraire ce sol couvert de « feuilles sèches, de mêmes arbrisseaux, de brins traî- « nants et autres *impedimenta* végétaux, doit faire subir « de notables retards à l'écoulement.

« S'il en était ainsi, nos cantonniers sur les routes et « nos cultivateurs dans les champs auraient bien tort

(1) *Vallès : De l'aliénation des forêts*, p. 94, 95.

« de couvrir le faîte de leurs cabanes soit avec de la « terre tassée qu'ils tapissent de gazon, soit avec des « feuilles et de la paille : qu'obtiennent-ils en mettant « en œuvre tous ces *impedimenta* végétaux? Ils ne font « d'après nos adversaires, que retarder l'écoulement de « la pluie et conserver celle-ci. Tout cela est-il bien « sérieux? est-ce ainsi que la critique l'entend? La « pratique des choses, et certes une longue pratique, « nous dit assez de quel côté se trouve la vérité. »

N'est-ce pas le cas de dire ici : qui veut trop prouver ne prouve rien?

A côté des observations que M. Belgrand a faites avec tant de soin et dont il s'est gardé, quant à lui de tirer aucune conclusion générale ou systématique, il convient de placer celles de trois gardes généraux des forêts qui ont entrepris de déterminer par des expériences directes dans les terrains boisés ou dénudés, les deux éléments qu'ils définissent ainsi : *le coefficient d'écoulement superficiel* (E), c'est-à-dire le rapport de l'eau qui profite aux cours d'eau à celle que fournit la pluie; 2° l'*action inondante* (I) qui n'est autre que le produit du *coefficient d'écoulement* par le rapport de la durée de la pluie à la durée de l'écoulement.

Un terrain qui transmettrait aux cours d'eau la moitié de la pluie aurait un coefficient d'écoulement $E = \frac{1}{2}$, et s'il la rendait dans un temps double de la durée de la pluie, l'action inondante serait $I = \frac{1}{4}$.

MM. Jeandel, Cantegril et Bellaud ont établi leur observatoire sur le versant occidental des Vosges, dans le département de la Meurthe ; ils ont mesuré fréquemment la quantité de pluie tombée et le débit des ruisseaux.

Leur mémoire se résume par le tableau suivant :

NATURE DU BASSIN.	VALEURS DE	
	E	I
Boisé.	0,0529	0,0174
Déboisé.	0,127	0,0391

D'après ce tableau, le *coefficient d'écoulement* et l'*action inondante* seraient environ deux fois aussi grands dans le bassin déboisé que dans le bassin boisé.

Si l'on désire approfondir cette question, on devra lire : 1° l'exposition faite par les observateurs (1) ; 2° le rapport à l'Académie, dans lequel le maréchal Vaillant, tout en signalant les imperfections de la méthode employée, adresse aux auteurs des encouragements bienveillants *pour être entrés dans la bonne voie* (2) ; 3° la sévère mais juste critique de M. Vallès (3). Ces documents porteront le lecteur à se ranger à l'avis du

(1) *Revue des eaux et forêts*, 1861, p. 121.
(2) *Revue des eaux et forêts*, 1861, p. 174.
(3) *Annales des ponts et chaussées*, 1862, I, p. 177.

maréchal Vaillant; les auteurs sont entrés dans la bonne voie; il est à désirer que d'autres s'y engagent à leur suite et améliorent la première méthode.

Ce second essai d'expériences scientifiques démontre une fois de plus la difficulté des comparaisons. M. Vallès (qui admet comme on l'a vu plus haut, la comparaison du *Cousin* avec le *ru de la Grenetière*, dont les bassins sont dans les rapports de 134 à 1) dit fort justement à propos du travail des gardes généraux : « Il « est d'abord regrettable que les étendues des deux « bassins soient si dissemblables. Le premier contient « 4222h,77; le second n'en a pas tout à fait le quart. »

On trouve éparses, dans la *Revue des eaux et forêts*, de nombreuses observations relatives au mouvement des eaux dans les terrains boisés ou non; mais ces études se rapportent principalement aux eaux torrentielles, et, pour ce cas particulier, la démonstration n'est plus à faire; il est donc inutile d'en parler ici. D'ailleurs, ces observations se rapportent le plus souvent à des cours d'eau distincts, c'est-à-dire non comparables entre eux. Les observations faites sur le même bassin, avant ou après la destruction ou la reproduction des forêts, sont assez rares en dehors de l'extinction si caractéristique des torrents (1). En voici cependant que l'on doit à Hum-

(1) Il est remarquable que dans les *Études sur les inondations* de M. Vallès, où les relations des forêts et de l'hydrologie sont exposées avec beaucoup de développement, et qui se terminent par une table de 86 auteurs cités, la plupart ingénieurs, on ne rencontre

boldt et à Boussingault, et que les partisans du reboisement ont longtemps considérées comme décisives, mais dont M. Vallès a victorieusement démontré l'incertitude et qu'il a même retournées contre ses adversaires (1).

Dans l'Amérique centrale, on a vu des lacs s'abaisser quand on défrichait les forêts et remonter à leur ancien niveau lorsque, par suite des guerres et de la ruine des cultures, les forêts, si actives dans les régions équatoriales, reprenaient possession du sol. Que conclure d'observations si vagues? (Dans l'une d'elles on mesure la retraite des eaux en opposant les données très-peu précises d'un auteur espagnol du XVIe siècle aux récits des voyageurs modernes). — De pareils faits permettent-ils d'apprécier le rôle des forêts? Elles ont augmenté l'écoulement superficiel, prétendent les uns; elles ont revivifié les sources et arrêté l'évaporation, répondent les autres, — et l'on doit reconnaître que, si le lac en question est maintenant protégé, par un rideau de forêts, contre l'action d'un vent dévorant, analogue à celui qui a desséché le Sahara et tel qu'on peut l'imaginer dans ces latitudes, cette cause suffit à expliquer l'exhaussement du lac. L'importance que cet exemple si peu précis des lacs a pris dans la controverse montre bien qu'on est encore

---

pas les noms de Fabre, Surell, etc., qui ont mis hors de doute l'action non plus modératrice, mais dominatrice des forêts sur les eaux torrentielles.

(1) *Vallès : Études sur les inondations*, p. 467. — *De l'aliénation des forêts*, p. 125. — *Annales des ponts et chaussées*, 1860, t. XIX, p. 80.

loin du temps où la méthode scientifique sera exclusivement employée.

M. Vallès oppose à ces lacs d'Amérique les lac suisses de Bienne, de Morat, de Neufchâtel, qui se sont abaissés à la suite des défrichements (1). Au contraire, un ingénieur suisse, M. Culmann, rapporte plusieurs exemples de lacs qui, pour la même cause, ont élevé leur niveau et envahi des propriétés riveraines (2).

Ces contradictions nous ramènent à nos conclusions, qu'il faut répéter à satiété :

On ne doit pas comparer entre eux des bassins distincts, mais des états successifs du même bassin.

Si l'on s'oppose au ravinement des terrains défrichés, le déboisement n'aura pas nécessairement pour effet d'accélérer l'écoulement des eaux.

L'action modératrice des forêts n'est certaine et prépondérante que dans les cas où, sans leur présence, les terrains en pente seraient ravinés.

Ce dernier point est reconnu avec empressement par M. Belgrand (3).

Ce n'est pas ici, après la lecture de l'*Étude sur les*

---

(1) *Vallès : De l'aliénation de forêts*, p. 134.

(2) *Culmann : Rapport au Conseil Fédéral.* L'exemple du lac de Wallenstadt est frappant : par suite du déboisement des montagues voisines, la Linth, qui reçoit un grand nombre de torrents et se jette à l'extrémité aval du lac, avait couvert les campagnes de ses alluvions et, par suite, barré le lac; le niveau s'était relevé de 3 mètres, lorsqu'on entreprit (1807) de régulariser la rivière.

(3) *Annales des ponts et chaussées*, 1854, I, p. 20.

torrents, que l'on demandera de prouver que les forêts s'opposent au ravinement; voici cependant une observation qui est intéressante, parce qu'elle a toute la précision d'une expérience arrangée dans un laboratoire. La note originale de M. Forster (1) peut se résumer ainsi :

Les observations ont porté sur un revers incliné à 45° qui se partageait en trois parties :

La première couverte depuis le faîte jusqu'au thalweg, d'une belle futaie de chênes et de hêtres;

La seconde défrichée depuis le faîte jusqu'au thalweg;

La troisième enfin défrichée à la partie supérieure, mais au bas de laquelle, le long du ruisseau, on avait conservé une bande boisée, s'élevant au quart de la hauteur du revers, laquelle varie de 400 à 590 mètres.

Dans la première partie, qui est totalement boisée et qui occupe les six septièmes de la surface totale, ***il n'y a pas un seul ravin.***

Dans la partie totalement défrichée, qui n'occupe pas un dixième de la surface totale, il y a trois ravins, dont M. Forster a mesuré, de 50 en 50 mètres, les sections croissantes depuis le faîte jusqu'au thalweg; pour le plus considérable de ces ravins, la section grandit avec la descente, depuis 0 jusqu'à 75 mètres carrés. La section totale des trois ravins, au débouché, est $190^{mq},50$.

Dans la troisième partie, qui est déboisée, sauf une

(1) *Ami des sciences*, 20 nov. 1859. — *Annales forestières*, 1860, p.338.

bordure, et dont la surface est sensiblement égale à celle de la seconde partie, il s'est formé quatre ravins qui vont en grandissant, depuis le faîte, jusqu'à ce qu'ils arrivent à la bordure boisée. Parvenus à ce point, les ravins se réduisent; les sections de ces quatre ravins donnent les mesures suivantes :

	EN HAUT à l'entrée du bois.	EN BAS à la sortie du bois.	OBSERVATIONS.
	m.q.	m.q.	
1er Ravin. . . .	22,50	16,50	
2e Id.. . . .	7,50	2,00	Le ravin s'est perdu dans le bois.
3e Id.. . . .	3,40	»	
4e Id.. . . .	75.00	73,00	
Totaux. . .	108,40	93,50	

Ces chiffres sont très-démonstratifs, ils prouvent que les forêts éteignent et effacent les petits ravins, et qu'elles empêchent les grands de s'accroître ou même les obligent à se réduire, malgré la force que les eaux déjà rassemblées acquièrent dans leur descente.

Les sections de ravinement, mesurées à la partie inférieure de chacun des deux revers d'égale étendue, qui sont, l'un totalement et l'autre partiellement déboisé, sont entre elles comme $190^{mq},50 : 93^{mq},50$; c'est-à-dire qu'il a suffi d'une bordure de forêt occupant le quart de la hauteur de l'un des deux revers pour réduire de moitié la section de ses ravins. Si l'on venait à mesurer l'*action*

inondante (1) sur ces deux revers, il est evident qu'elle serait beaucoup plus faible du côté dé la bordure boisée où la section ravinée est moindre que du côté du revers entièrement dénudé.

« M. Vallès rapporte ces observations et les trouve « très-propres à donner la mesure respective de la *com-* « *pacité* du sol forestier comparativement à celle du sol « cultivé (2). »

Comme, dans les écrits de cet auteur, l'idée de *compacité*, prise dans le sens de résistance à la pioche ou au ravinement, s'associe à celle d'*imperméabilité* et d'*incapacité absorbante*, il est bon de faire remarquer que compacité et imperméabilité sont deux choses bien distinctes : le filet d'un pêcheur est très-résistant et personne ne doute qu'il ne soit perméable. Le calcaire du mont Ventoux est très-compact et nullement imperméable, car il fonctionne comme un filtre.

En fin de compte, si l'on rapproche ces dernières conclusions de celles du chapitre précédent, on peut dire, relativement aux trois composantes de l'action forestière, que, le plus souvent et sauf les exceptions motivées, les forêts s'opposent à l'*évaporation*, qu'elles facilitent l'*infiltration;* mais qu'elles ne retardent efficacement l'écoulement des eaux ou *ruissellement* que dans les cas où elles arrêtent le ravinement.

---

(1) Voir ci-dessus, page 142.
(2) *Vallès : De l'aliénation des forêts*, p. 100.

CHAPITRE VI.

LES FORÊTS ET LES COURS D'EAU.

Résultante de l'action hydrologique des forêts.

Après avoir étudié séparément, dans les chapitres qui précèdent, chacune des trois composantes de l'action hydrologique des forêts (*Évaporation*, *Infiltration*, *Ruissellement*), il faut essayer de les combiner ensemble; mais avant de faire cet essai, il importe d'insister sur une circonstance essentielle et que nous avons négligée jusqu'ici.

La crue d'une rivière est la résultante des crues de tous ses affluents; or, il dépend des circonstances topographiques que les crues élémentaires se succèdent ou s'ajoutent. Imaginons deux cours d'eau parfaitement égaux aboutissant au même point, comme les deux branches d'un V. Si les deux bassins sont soumis, dans le même moment, à la même averse, les deux crues s'ajoutant donneront, à l'aval, une crue très-forte; si, au lieu de deux branches, il y en a trois ou quatre ramifiées convenablement, l'effet sera plus sensible encore. Il en

sera tout autrement si l'orage n'a donné que dans l'un des bassins ou si, la pente de l'une des branches étant plus faible, la crue de ce côté n'arrive qu'après que l'autre est écoulée.

Dans le bassin du Rhône, par exemple, c'est le vent d'ouest et de nord-ouest qui met en crue la Saône, l'Ain, le Rhône, l'Isère, la Drôme, la Durance; c'est, au contraire, le vent du sud-est qui fait déborder l'Ardèche, l'Eyrieu, la Cèze, le Gardon, etc., c'est-à-dire que les crues du premier groupe ne correspondent presque jamais avec celles du second.

Ce contraste se produit avec plus de grandeur encore dans le bassin de l'Amazone. Ce fleuve ou plutôt cette tribu de fleuves ont leur thalweg principal dirigé suivant l'équateur; il en résulte que les affluents de la rive gauche, ceux du nord, ont leur saison des pluies quand le soleil est dans l'hémisphère nord; ils débordent dans le temps même que les affluents de droite, qui viennent du sud, sont à l'étiage; les eaux du nord refoulent alors celles du sud et vont inonder au loin la rive opposée. Le même effet se produit en sens inverse, quand le soleil passe dans l'autre hémisphère. Ainsi, le grand fleuve peut être comparé à un océan d'eau douce qu'une puissante marée annuelle verse tantôt dans l'hémisphère austral et tantôt dans l'hémisphère boréal (1).

En résumé, chaque cours d'eau a son tempérament

(1) *Agassiz : Voyage au Brésil.*

qui résulte de la combinaison en proportion variées jusqu'à l'infini des éléments suivants: ***Pluie, évaporation, perméabilité du sol, culture et relief des versants, ramification ou orientation des thalwegs***, etc.

Parmi ces éléments, les uns sont ***météorologiques***, les autres ***géologiques***, les derniers enfin ***orographiques***. Ils réagissent les uns sur les autres; la perméabilité, par exemple, qui est surtout un élément géologique, dépend beaucoup de la manière dont la pluie est distribuée. Si l'eau du ciel tombe en petite quantité, la terre la boit; l'évaporation la lui reprend et le ruissellement est nul; si, au contraire, la terre est imbibée, la même pluie qui, tout à l'heure, ne donnait rien à la rivière, détermine maintenant une crue. De là cette distinction très-judicieuse faite par M. Belgrand entre les pluies ***préparatoires*** et les pluies que l'on pourrait appeler ***nourricières***.

Un cours d'eau sera d'autant plus torrentiel que sa constitution sera mieux appropriée pour rassembler sur le même point, et dans le moins de temps possible, la plus grande masse d'eau. Pentes rapides, terrains imperméables, pluies soudaines et violentes, tels sont les éléments physiologiques des torrents.

Ce mécanisme bien connu, cherchons quel peut être le rôle définitif des forêts, et, nous souvenant que deux cours d'eau ne sont pas comparables, gardons-nous des généralisations pour nous borner à quelques individualités caractéristiques.

Prenons d'abord pour exemple un torrent des Hautes-Alpes, dont les circonstances nous sont familières et dont la surface de bassin, supposée égale à 500 hectares, reçoit, par hypothèse, en une heure une trombe de 20 millimètres de pluie. En quoi les effets seront-ils différents si les *combes* sont boisées ou si le schiste dans lequel elles sont découpées est mis à nu? Admettons quelques chiffres pour prèciser le raisonnement.

1° Le climat étant très-sec et les orages très-rares, on peut admettre que le feuillage des arbres retiendra, sinon 40 p. 100 de la pluie annuelle comme à Fontainebleau, au moins 10 p. 100 de la pluie d'orage soit 2 millimètres (1).

2° Pour la même cause, l'humus des forêts, les herbes, etc. retiendront une certaine quantité d'eau, soit 8 millimètres (2).

3° L'écoulement des 10 millimètres restant sera certainement retardé par la forêt, car la combe nue est véritablement un toit d'ardoise: supposons que la forêt double le temps de l'écoulement.

D'après ces trois hypothèses, on voit que les combes boisées comparées aux combes nues débiteront moitié moins d'eau dans un temps double.

Imaginons maintenant que le *Bassin de réception* soit

(1) Voir ci-dessus, page 96.
(2) Page 117.

un entonnoir dont tous les ravins égaux convergent vers le goulet, comme les plis d'un éventail : tous les affluents ajoutant simultanément leur action au même point, la crue, à partir du moment où les eaux commencent à monter dans le goulet, sera subite : cette rapide montée des eaux se produira également que les combes soient boisées on non, car elle ne dépend que de la convergence des affluents ; mais l'action des forêts se fera sentir sur la hauteur et la durée de la crue, puisque, ainsi que cela résulte de nos hypothèses, les combes boisées comparées aux combes nues débiteront moitié moins d'eau en un temps double, c'est-à-dire que le débit par seconde dans le goulet, sera quatre fois moins grand dans un cas que dans l'autre.

Ces derniers chiffres montrent que nos hypothèses ci-dessus sont trop modérées ; en effet, les crues d'un torrent éteint et d'un torrent en activité ne sont pas dans le rapport de 1 à 4, mais bien plutôt de 1 à 30 ou à 100. Il est probable que c'est surtout l'action retardatrice de la forêt que nous avons évaluée trop bas, et peut-être aussi la faculté absorbante de l'humus, des herbes, etc.

Mais il ne suffit pas d'examiner quelle sera l'action des forêts sur la crue elle-même ; il faut encore rechercher quelle sera la situation de ces deux torrents le lendemain de l'orage. — Dans le bassin déboisé, il n'aura pas été retenu une goutte d'eau, le soleil aura desséché les surfaces ; la situation sera la même qu'avant l'orage, sauf que les ravins seront remis à vif par une sorte de *décapage* et quelque peu approfondis. Au contraire, dans le bassin

boisé, il restera, sous l'ombre de la forêt, les 8 millimètres d'eau retenus, soit pour 500 hectares 40,000 mètres cubes d'eau, qui suffiraient à alimenter pendant trois mois un joli ruisseau de 5 litres par seconde (1).

Cet exemple purement hypothétique n'est donné ici que pour fixer les idées : il peut cependant servir à réfuter certaines assertions erronées relatives à l'action hydrologique des forêts et notamment la suivante qui a été soutenue avec beaucoup de force par plusieurs auteurs.

Nous avons reconnu au chapitre IV que les forêts, en protégeant la nappe pluviale contre l'évaporation, relèvent le niveau moyen des cours d'eau, *un peu pendant l'hiver, beaucoup pendant l'été*. Quelques auteurs, accep-

---

(1) Les Balkans, comme les Alpes, sont déchirés par des torrents qui résultent de la destruction des forêts. Un maître-forestier de Styrie envoyé en Turquie pour rechercher des bois, rendait compte en ces termes de sa mission : « Je suivais les bords « de la Maritza, non loin des Balkans, ne sachant vers quel point « des montagnes je devais me porter : les gens du pays me refu- « saient tout renseignement sur les forêts ; j'eus recours à une « feinte. *Me souvenant que les cours d'eau qui sortent des régions « boisées ont d'ordinaire un régime constant*, je me bornai à in- « terroger mes guides sur le régime des affluents de la Maritza qui « traversaient notre route et qui tous descendaient des montagnes, « gonflés alors par la fonte des neiges... La plupart, me disait-on, « tarissaient pendant l'été : l'un d'eux cependant présentait, par « l'aspect de son lit, les caractères d'un régime constant dont on « me donna l'assurance. Quittant alors la vallée principale, je « remontai ce cours d'eau et je pénétrai bientôt dans un bassin « couvert de riches forêts. »

Ce simple témoignage d'un homme qui a passé sa vie en contact avec la nature suffirait à donner de la force à nos théories, si elles ne reposaient déjà sur des observations concluantes.

tant cette observation et remarquant que l'hiver est d'ordinaire la saison des crues, ont pensé que les forêts augmentaient en hiver le danger des crues exceptionnelles et par suite des inondations. — Cette conclusion est doublement erronée : d'abord parce qu'elle ne tient compte que d'une seule des trois composantes, c'est-à-dire de l'action des forêts sur l'évaporation, et en second lieu parce que, précisément dans le cas des crues exceptionnelles, l'évaporation ne joue aucun rôle.

Que l'on considère une trombe qui s'abat en peu d'instants dans l'entonnoir d'un torrent ou des pluies torrentielles qui règnent pendant plusieurs jours sur le bassin d'un fleuve, dans l'un et l'autre cas, l'air étant saturé d'humidité, l'évaporation qui ne peut se développer qu'à la longue et seulement quand la pluie a cessé, reste nulle. — C'est pour cela que dans l'exemple présenté ci-dessus, il n'a pas été tenu compte de l'évaporation dans le bassin du torrent.

Les auteurs qui pensent que les forêts, augmentant le débit des cours d'eau, relèvent le niveau d'inondation, confondent le ***débit moyen*** avec le ***débit maximum***. Les forêts s'opposent pendant toute l'année à l'évaporation, par suite elles augmentent le débit moyen; mais, lors des pluies exceptionnelles qui seules peuvent amener un débordement et pendant lesquelles l'évaporation est insignifiante, la seule action des forêts consiste à retenir une petite quantité d'eau sur le feuillage, dans l'humus, etc... et à ***retarder*** le ruissellement. Ainsi les forêts, quoiqu'elles augmentent le débit moyen des cours

d'eau, diminuent au lieu de l'aggraver le danger des inondations.

Le calcul fait ci-dessus pour un torrent pourrait être appliqué dans la même forme à un fleuve; toutefois les coefficients numériques devraient être notablement modifiés et le résultat final serait loin d'être aussi favorable.

Si, par exemple, il est permis d'admettre que les forêts doublent la durée d'écoulement d'une trombe qui s'abat en une heure, il n'est pas permis de croire qu'elles puissent doubler la durée d'écoulement d'un déluge qui se prolongerait pendant huit jours. Par suite, les forêts qui ont pu réduire des trois quarts la crue d'un torrent ne réduiraient que d'une faible fraction la crue du fleuve; mais il est des cas où cette faible fraction peut suffire pour empêcher qu'une digue soit surmontée et pour écarter de grands malheurs.

De ces exemples hypothétiques passons à quelques observations réelles fournies par des cours d'eau dont le caractère est bien connu.

Comme transition entre les torrents et les rivières, on peut choisir l'Ardèche, dont M. de Mardigny a fait une étude qui satisfait pleinement, parce que l'auteur, libre de préoccupations systématiques et se bornant à peindre, ne provoque ni l'objection ni la défiance (1).

---

(1) *De Mardigny: Annales des ponts et chaussées*, 1860, I, p. 249.— Consulter aussi : *Marchegaye: Annales des ponts et chaussées*. 1861-I.

L'Ardèche est un grand torrent où tout est disposé pour produire le maximum d'effet : bassin circulaire, convergences des affluents, montagnes dénudées, pluies extraordinaires. On se fait difficilement une idée de la violence des orages que le vent du sud-est (l'antagoniste du mistral) précipite sur l'amphithéâtre des Cévennes. Ces pluies inimaginables ont été constatées par les observateurs les plus dignes de foi. M. Tardy de Montravel a reçu dans son pluviomètre, en un jour, 792 millimètres, c'est-à-dire la pluie qui tombe à Paris en dix-huit mois. Ces phénomènes météorologiques ne se produisent qu'en septembre ou octobre.

L'Ardèche est ordinairement à sec, la crue descend des montagnes et se propage plus rapide que le galop d'un cheval : des lavandières n'ont que le temps de fuir sans penser à ramasser leur linge ; le débit s'élève subitement de 0 à 7 ou 8,000 mètres cubes, et le lendemain on passe la rivière à gué : le déluge est écoulé.

On a vu la crue tantôt traverser le Rhône comme un barrage, enfoncer la digue opposée et se répandre dans les plaines de la rive gauche, tantôt recouvrir le fleuve d'un radeau de troncs d'arbres arrachés aux montagnes.

L'Ardèche seule détermine dans le Rhône, à Avignon, une crue subite de plus de 5 mètres (1). Si, par une rotation des vents qui passeraient au sud-est après avoir

---

(1) Dans le pays, ces crues subites du Rhône sont appelées *coups de l'Ardèche*.

longtemps soufflé de l'ouest, un pareil cataclysme se produisait dans un moment où déjà le Rhône et ses affluents de la rive gauche sont en crue, le fleuve dépasserait probablement de plusieurs mètres le plus haut niveau connu de ses eaux. Qui peut assurer que cet événement n'arrivera pas? Et quel serait alors le rôle possible des forêts?—M. de Mardigny pense qu'il n'y a rien à attendre du reboisement des Cévennes; il paraît considérer l'Ardèche comme un de ces cas extrêmes et désespérés où l'homme, dominé par les éléments, ne peut opposer à leur fureur que sa résignation.

La Loire possède aussi, jusqu'à un certain point, le tempérament torrentiel. Les hautes montagnes d'où elle descend, ainsi que l'Allier (*l'altitude des sources est pour la Loire* 1,481 *mètres* (1), *pour l'Allier* 1,501 *mètres* (2)), arrêtant au passage le courant pluvial de l'ouest et du nord-ouest, reçoivent des quantités d'eau considérables (3) : les versants granitiques sont imperméables et rapides. En amont de Roanne, le bassin s'étend sur une superficie de 6,400 kilomètres; il est à peu près egal à ceux de l'Eure et de la Somme cités au chapitre précédent; cependant la Loire éprouve des crues de 7,290 mètres cubes par seconde, c'est-à-dire environ cent fois plus fortes que les plus grandes crues de

(1) *Carte de l'état-major*, feuille 186.

(2) *Carte de l'état-major*, feuille 197.

(3) M. l'Ingénieur en chef de Coulaine a observé qu'à Mende le dégel est quelquefois amené par un vent de nord-est, qui n'est autre que le vent d'ouest qui s'est engagé dans la vallée de l'Al-

ces deux rivières (1). Cette différence s'explique par la plus grande abondance des pluies, la ramification plus favorable des thalwegs, la rapidité des pentes, l'absence de terrains perméables.

Le boisement complet du bassin de la Loire changerait-il cette situation? — Il est impossible, sans avoir fait des circonstances locales une étude approfondie, de répondre à une pareille question comme paraissent disposés à le faire quelques partisans exagérés des forêts. Ce que l'on peut affirmer, c'est que, la Loire roulant une quantité très-considérable de sable, on a ainsi la preuve que le bassin supérieur est soumis à un ravinement énergique; par suite, on est porté à croire que le boisement général de ce bassin modifierait notablement le régime du fleuve. Ce boisement serait-il une opération fructueuse? est-il seulement possible? — Ce sont là des questions économiques dont la discussion, souvent reprise, n'est pas près d'être terminée.

On possède de très-intéressantes monographies sur le Rhône (2), le Pô (3), la Garonne (4), l'Èbre (5), la

---

lier et, après l'avoir remontée, passe la montagne, puis redescend dans la Lozère avec une direction presque opposée à celle de son point de départ.

(1) *Belgrand : Annales des ponts et chaussées*, 1854, I, p. 16.

(2) *Surell* : Mémoire, Nîmes, 1847.

(3) *Baumgarten : Annales des ponts et chaussées*, 1854, II.—*Comoy : Annales des ponts et chaussées*, 1860, II.

(4) *Baumgarten : Annales des ponts et chaussées*, 1848, II.

(5) *Lesguiller* : *Annales des ponts et chaussées*, 1862, I.

Meuse (1), etc., et sur d'autres rivières secondaires; il ne peut entrer dans notre plan d'analyser ces ouvrages dus au zèle individuel de quelques ingénieurs; il convient cependant de dire quelques mots de la Seine, pour opposer au type des cours d'eau torrentiels celui des rivières tranquilles.

Si la Seine est dans le monde le fleuve le mieux connu, elle le doit sans doute à l'honneur qu'elle a de traverser Paris; mais c'est M. Belgrand qui nous a fourni le plus de renseignements sur son régime et sa constitution. La série des mémoires qu'il a publiés offre, outre leur valeur scientifique, un véritable intérêt professionnel.

Au début de sa carrière, l'auteur observe d'abord quelques affluents secondaires; puis il descend le cours du fleuve et grandit lui-même avec l'objet de ses études; maître enfin de son sujet, il suit dans toutes les ramifications du bassin les deux courants superposés qui entraînent les eaux en sens contraire, l'un dans l'atmosphère avec les nuages, l'autre sur la terre par les ruisseaux et les fleuves. Il sait, dans chaque onde qui s'élève sous les ponts de Paris, reconnaître la crue particulière de chaque affluent; il mesure d'avance le niveau et la durée des hautes eaux.

Pourquoi cette carrière d'ingénieur est-elle unique en France? Pourquoi, malgré le vœu si rationnel, exprimé

(1) *Mardigny et Pointcarré : Annales des ponts et chaussées*, 1864, II.

ces deu
plus g
favo
de

LES FORÊTS

en 1856 par une voix assez forte pour se faire entendre, (1), chaque fleuve de France n'est-il pas centralisé dans la main d'un seul homme qui, ayant vécu sur ses bords, en connaîtrait toutes les parties?

Pourquoi ne possédons-nous pas sur chacune de nos principales rivières une monographie complète publiée par l'État, monument scientifique où l'on trouverait suivant un plan méthodique tous les éléments historiques, économiques, météorologiques, techniques, hydrologiques, qui intéressent l'agriculture et les travaux publics?

Comment voit-on sur un grand fleuve deux services indépendants, dont l'un chasse vers l'aval des graviers de l'amont, tandis que l'autre, accablé par ces graviers, lutte vainement pour assurer dans l'avenir la navigation de l'estuaire? Est-ce au point d'arrivée ou au point de départ de ces graviers qu'il faut agir? Et quel regret n'aurait-on pas si l'on venait à découvrir que la moitié des millions jetés à la mer sous forme d'enrochements, s'ils avaient été dépensés dans les montagnes, auraient amélioré en même temps les sources et l'embouchure, tandis qu'on a peut-être, à l'aval, compromis un grand port et qu'à l'amont, on a laissé s'étendre le fléau des torrents?

Un cours d'eau est un être vivant; il se déplace, croît

---

(1) *L'Empereur Napoléon III : Lettre au ministre de travaux publics.*

et décroît; il est calme ou furieux. S'il en est ainsi, pourquoi le soumettre à deux traitements indépendants? Un malade partage-t-il sa fièvre entre deux médecins?

Mais revenons à la Seine : son bassin est circulaire comme celui de l'Ardèche; toutefois, ce n'est qu'un vaste plateau bordé d'un amphithéâtre calcaire peu élevé (1); ce plateau est découpé de vallées peu profondes. Sur la plus grande partie de la surface, il ne tombe que des quantités modérées de pluie; dans une région seulement du bassin, vers le Morvan, la tranche pluviale est comparable à celle que reçoivent les montagnes (2).

La plupart des affluents sont alimentés par les sources qui naissent au pied de l'amphithéâtre calcaire. De vastes surfaces du bassin sont très-perméables et conduisent l'eau dans des réservoirs profonds, d'où elle ne reparaît plus; d'autres, très-étendues aussi, sont boisées; il n'existe nulle part de ravinements sérieux. Pour toutes ces raisons, la Seine, comparée au Rhône, à la Loire,

---

(1) L'altitude des sources est :

	mètres.
Pour la Seine.	471
— la Marne.	381
— l'Yonne.	95
— l'Oise.	167

(*Patria*, I, 95.)

(2) On a expliqué les pluies exceptionnelles du Morvan par la rencontre de deux courants d'air inégalement humides et de températures différentes, le courant qui remonte la Loire et celui qui remonte la Seine et l'Yonne.

au Rhin, etc., présente un tempérament relativement limpide et tranquille déjà remarqué des Romains.

Les diverses branches du tronc commun sont, il est vrai, ramifiées de manière à produire une certaine simultanéité des crues : la distance mesurée sur la carte avec un compas, par enjambées de 10 kilomètres, depuis Charenton jusqu'à la source de chaque branche, donne les longueurs suivantes :

	kil.
Pour la Marne.	385
— l'Aube.	305
— la Seine.	290
— l'Yonne.	280
— le Loing.	170

Cependant, les pentes étant plus rapides et les terrains moins perméables du côté du Loing et de l'Yonne, les crues de ces affluents sont généralement en avance sur celles des autres branches. Il est rare aussi que le même phénomène météorologique règne également dans toute l'étendue du bassin; il arrive que l'Yonne se gonfle sans que l'Oise s'émeuve.

Dans ce système, l'élément torrentiel est représenté par l'Yonne, l'élément tranquille par la Seine et l'Aube. M. Belgrand admettait en 1846, avec M. Dausse, que sur un total de 28 milliards de mètres cubes de pluie qui tombe annuellement en amont de Paris, 8 milliards seulement passent sous les ponts de Paris et que le reste est enlevé par l'évaporation ou l'infiltration (1).

(1) Dans ce calcul, la quantité de pluie qui tombe dans le bassin de la Seine était évaluée trop bas, car on ne mesurait alors que la

La Seine, le mieux connu de nos fleuves, est aussi le plus anciennement observé; ses hauteurs journalières ont été régulièrement enregistrées depuis 1732, et l'on a pu calculer la moyenne par mois, par années, etc... Nous avons déjà rapproché les moyennes mensuelles de la Seine et celles de la pluie à Paris; nous avons constaté que les minima de la Seine correspondent aux maxima de la pluie, ce qui ne peut être attribué qu'à l'évaporation. Il est naturel de se demander quelle correspondance existe entre la hauteur moyenne annuelle de la Seine et la hauteur annuelle de la pluie à Paris. On en pourra juger par le tableau suivant, où sont réunies, pour les hauteurs de la pluie et de la Seine, les dix années de minima et les dix années de maxima.

---

pluie qui tombe à Paris et l'on ne connaissait pas les pluies beaucoup plus considérables du Morvan et des Ardennes.

ANNÉES OU LA HAUTEUR MOYENNE ANNUELLE DE LA SEINE A ÉTÉ :						ANNÉES OU LA HAUTEUR MOYENNE ANNUELLE DE LA PLUIE TOMBÉE A PARIS A ÉTÉ :						OBSERVATIONS.
MINIMA.			MAXIMA.			MINIMA.			MAXIMA.			
Années.	Minima de la Seine.	Hauteur de pluie.	Années.	Maxima de la Seine.	Hauteur de pluie.	Années.	Minima de la pluie.	Hauteur de la Seine.	Années.	Maxima de la pluie.	Hauteur de la Seine.	
	m	mm		m	mm		mm	m		mm	m	
1858	0,21	466,0	1816	2,35	545,6	1793	330,6	1,06	1804	703,1	1,31	Les hauteurs de la Seine sont extraites des œuvres d'Arago t. XII, p. 507. Les hauteurs de la pluie du *Recueil* de M. Raulin.
1803	0,59	»	1836	1,95	610,7	1842	342,3	0,80	1776	631,4	»	
1800	0,64	»	1802	1,80	»	1855	343,6	1,60	1786	628,7	1,31	
1832	0,72	456,3	1774	1,74	602,7	1796	349,9	1,23	1819	615,2	0,95	
1785	0,74	442,5	1837	1,72	547,5	1790	352,4	0,95	1854	613,9	1,48	
1822	0,75	424,1	1787	1,70	596,3	1781	360,8	0,99	1836	610,7	1,95	
1826	0,77	409,7	1792	1,70	530,(?)	1820	378,5	1,15	1774	602,7	1,74	
1794	0,78	394,0	1841	1,67	526,7	1814	382,2	1,04	1782	601,9	1,41	
1842	0,80	342,3	1809	1,63	490,1	1794	394,0	0,78	1811	597,6	1,26	
1815	0,84	450,8	1824	1,62	572,1	1791	401,4	1,25	1849	597,3	1,10	
Moyennes.	0,68	0,423	Moyennes.	1,79	557,9	Moyennes.	343,5	1,08	Moyennes.	620,2	1,39	

Les années communes aux deux tableaux sont soulignées et l'on voit que les *maxima* ou *minima* de la pluie ne correspondent que deux fois sur dix à ceux de la Seine, car il n'y a que deux années communes aux deux tableaux. Toutefois, la non-concordance ne va pas jusqu'à faire figurer la même année parmi les *maxima* d'un tableau et les *minima* de l'autre.

On voit encore par ces chiffres combien il est difficile de comparer deux rivières différentes, puisque le même cours d'eau est à peine comparable avec lui-même : nous voyons en effet que d'égales hauteurs de pluie annuelle donnent pour la Seine des hauteurs inégales et nous sommes conduits à ce théorème hydrologique : *L'effet de la pluie sur les cours d'eau dépend de sa distribution relative entre les saisons plus que de sa hauteur totale annuelle* (1).

Voici quelques chiffres analogues aux précédents et relatifs à la Saône (2) :

---

(1) Voir à la note C une confirmation numérique de cette proposition fournie récemment par MM. *Belgrand* et *Lemaire*.

(2) *Belgrand : Annales des ponts et chaussées*, 1852, I. 37.

ANNÉES.	QUANTITÉ DE PLUIE tombée sur le bassin a.	LE DÉBIT REPRÉSENTE sur le bassin une couche d'eau de b.	RAPPORT $\frac{b}{a}$.
1844	854,50	459,10	0,53
1845	959,80	528,10	0,55
1846	944,80	553,90	0,58
1847	805,60	396,80	0,49
1848	853,10	405,60	0,47
1849	821,50	359,50	0,43
1850	742,00	382,20	0,51

Le Tibre a été l'objet de calculs semblables : les chiffres relatifs aux années 1822 à 1849 sont rapportés par M. Baumgarten (1) ; les valeurs du rapport $\frac{a}{b}$ varient de 0,530 à 0,964 (si toutefois ce dernier chiffre n'est pas le résultat d'une erreur). La moyenne est de 0.698.

Il est très-regrettable que l'on n'ait, pour la Loire, la Garonne, le Rhône, etc., que des observations relativement très-récentes et que l'on ne puisse étendre à la France entière, pendant une série de siècles, la méthode conseillée ci-dessus et qui consiste à comparer deux états successifs d'un même bassin ; on pourrait alors répondre à cette question : *Le déboisement de la France a-t-il modifié le régime de ses cours d'eau?* Voici toutefois quelques chiffres :

(1) *Annales des ponts et chaussées*, 1853, I.

Tableau du régime de la Seine et du Rhin par périodes décennales.

PÉRIODES DÉCENNALES.	HAUTEUR de pluie à Paris A.	HAUTEUR MOYENNE de la Seine B.	HAUTEUR MOYENNE du Rhin C.	OBSERVATIONS.
		m		
1732 à 1740	411,0	1,16		A. Raulin.
1741 1750	425,5	1,09		B. Arago, t. XII p. 503.
1751 1760	»	1,33		C. Patria, t. I, p. 110.
1761 1770	»	1,16		
1771 1780	539,6	1,30		
1781 1790	506,9	1,22	2,30	
1791 1800	413,7	1,15	2,22	
1801 1810	518,3	1,34	2,44	
1811 1820	496,5	1,28	2,20	
1821 1830	498,6	1,12	2,22	
1831 1840	509,3	1,26	2,01	
1841 1850	529,3	1,27		
1851 1860	520,3	1,24		

On voit sur ce tableau: 1° que la moyenne des pluies à Paris n'a pas sensiblement varié. Ce premier point a été établi avec détail dans un des chapitres précédents.

2° Que la portée moyenne annuelle de la Seine n'a pas varié davantage et que surtout elle n'a subi aucune variation continue;

3° Que le Rhin, au contraire, pendant la période considérée, manifeste une tendance à l'abaissement du niveau moyen.

Il paraît que d'autres rivières allemandes accusent

la même tendance que le Rhin (1), et il est remarquable que ces changements se produisent dans le pays où les forêts sont le mieux aménagées et le plus généralement conservées. Il est donc probable que l'abaissement des rivières allemandes tient précisément à l'abaissement du lit par suite de la canalisation, de l'endiguement, etc., opérations qui ne peuvent être entreprises avec succès que lorsqu'on a fixé les parties supérieures du bassin et arrêté, à leur point de départ, les alluvions qui vont se déposer sur les parties basses.

Si la Seine manifestait un accroissement continu inverse de l'abaissement du Rhin, on pourrait hasarder le raisonnement suivant qui, du reste, ne serait pas à l'abri d'objections; on dirait: Le vent d'ouest gouverné par les phénomènes astronomiques est resté sensiblement constant; il a porté sur l'Europe, en chaque siècle, la même quantité de vapeurs, mais la France ayant défriché ses forêts tandis que l'Allemagne a conservé les siennes, et le déboisement ayant occasionné de plus grandes chutes de pluie en France, l'Allemagne a reçu moins d'eau: de là l'abaissement de ses fleuves. Par malheur pour ces déductions dignes de tant d'autres auxquelles le déboisement a donné lieu, la Seine est restée stationnaire.

Cherche-t-on à répondre à la question posée ci-dessus par la considération des plus hautes eaux de chaque rivière, on est conduit à rapprocher les dates suivantes:

---

(1) *Bravais : Patria*, t. I, p. 110.

DÉSIGNATION DES RIVIÈRES.	DATES DES PLUS HAUTES EAUX CONNUES.
Seine à Paris.	1615
Tarn à Montauban..	1773
Lot à Cahors.	1783
Rhin à Cologne.	1784
Saône à Châlon.	1711
Loire à Tours.	1856

On voit que la plupart des hautes eaux connues ont eu lieu dans le 18e siècle; mais, ainsi que nous avons déjà eu occasion de le remarquer, ces sortes de statistiques sont sans valeur scientifique, parce que les observations anciennes font défaut. Si la Seine figure sur ce tableau avec la date la plus ancienne, c'est probablement parce qu'elle est le plus anciennement observée. Nous ne connaîtrons jamais le plus haut niveau qu'ont atteint les différentes rivières de France, et rien ne nous autorise à croire que ce niveau ne sera pas atteint de nouveau; surtout nous ne sommes pas autorisés à dire que les défrichements exécutés depuis cent ans ont amené des crues croissantes.

Sur le tableau des pages 172 et 173 sont résumés quelques-uns des éléments qui peuvent servir à caractériser le tempérament d'une rivière.

Ce tableau, extrait du *traité d'hydraulique et de géologie agricole* de M. Duponchel, montre l'extrême diver-

DÉSIGNATION des BASSINS.	SURFACE DES BASSINS en hectares.	HAUTEUR annuelle de l'eau pluviale.	HAUTEUR annuelle de l'eau écoulée.	MODULE ou débit moyen par secondes.	DÉBIT minimum d'étiage.	DÉBIT MAXIMUM des crues. Total en mètres cubes.	DÉBIT MAXIMUM des crues. Par hectare en litres.	RAPPORT du débit des crues au débit d'étiage.	NOMS des observateurs.
	hect.				m	m	l		
Vidourle.	80.000	0,93	0,55	14	0,10	1.500	19	15.000	
Orb.	140.000	»	»	»	2,50	2.500	18	1.000	
Hérault.	250.000	»	»	»	5	4.000	16	800	
Ardèche.	243.000	»	»	»	5	7.000	29	1.400	De Mardigny.
Rhône (Arles).	9.270.000	1,00	0,58	1,718	»	14.000	1,51	»	Surell.
Id. (à Genève). . . .	960.000	»	»	»	199	532	0,55	2,67	
Somme.	610.000	»	»	»	20	55	0,09	2,75	Cambuzat.
Arve.	283.000	»	1,28	112	38	785	2,76	20,00	
Saône (Lyon).	3.060.000	0,81	0,47	144	»	»	»	»	
Garonne (Tonneins). . .	5.193.000	0,63	0,41	659	37	10.500	2,02	283	Baumgarten.
Dordogne (Bergerac) . .	1.600.000	»	»	»	36,00	4.888	3,05	136	
Neste.	57.000	»	2,08	37,50	5	234	4,35	46,80	

DÉSIGNATION des BASSINS.	SURFACE DES BASSINS en hectares.	HAUTEUR annuelle		MODULE ou débit moyen par secondes.	DÉBIT minimum d'étiage.	DÉBIT MAXIMUM des crues.		RAPPORT du débit des crues au débit d'étiage.	NOMS des observateurs.
		de l'eau pluviale.	de l'eau écoulée.			Total en mètres cubes.	Par hectare en litres.		
	hect.				m	m	l		
Seine (à Paris).	4.430.000	0,55	0,177	250	48	2.200	0,50	46	Dausse.
Loire (à Roanne). . . .	»	»	»	»	5	7.290	»	1.458	Vauthier.
Rhin (Hollande).	20.060.000	»	0,28	2.000	»	9.000	0,43	12	Lacroix.
Id. (Maxaw, Palatinat).	5.700.000	»	0,62	1.335	381	4.704	0,82	»	Becker.
Ebre (Sarragosse). . . .	4.000.000	»	»	»	30	5.000	1,25	167	Lesguillé.
Pô	6.940.000	0,78	»	1.720	314	5.149	0,77	24	Lombardini.
Adda.	448.600	»	1,30	187	53	»	»	»	Id.
Tibre	1.672.000	0,79	»	291	165	1.710	1,02	10,40	Cavalieri.
Nil	»	»	»	»	300	10.000	»	20	Favier.
Mississipi	375.000.000	1,38	0,11	15.200	»	»	»	»	Brown.
Id. (Natchez) . . .	328.000.000	»	0,27	28.000	»	»	»	»	Ellet.
Amazones.	485.000.000	»	0,93	143.640	»	»	»	»	Tardy de Montravel.

sité qui existe parmi les cours d'eau et la difficulté des comparaisons. On remarque notamment cette loi, que pendant les crues et par hectare de bassin, les petits cours d'eau débitent plus que les grands : c'est là un effet de la pente.

Enfin, le tableau de la page 175 donne, sinon la mesure, du moins une idée de l'extraordinaire énergie avec laquelle les torrents fonctionnent sur la planète, car la masse des alluvions entraînées a d'abord été arrachée à la terre par des torrents grands ou petits.

DÉSIGNATION des cours d'eau.	DÉBIT total par an.	CUBES DE MATIÈRES entraînées			AVANCEMENT annuel du delta dans la mer.	NOMS des observateurs.
		En totalité.	Par mètre cube d'eau.	Par hectare de bassin.		
	mill. de m. c.	mèt. cub.	lit	m.cub.	mèt.	
Mississipi	480.000	664.000.000	1,4	1,8	100	Thomassy (Duponchel).
	552.000	211.000.000	0,38	0,7	79	Humphreyt et Abbot (Mangon).
Pô	»	40.000.000	1,6	6,0	70	Lombardini.
Rhône (Arles)	»	21.000.000	0,4	2,27	56	Surell.
Garonne (Tonneins)	»	5.700.000	0,25	1,10	»	Baumgarten.
Durance (Mermidol)	12.188	11.077.000	0,9	8,40	»	
Var	5.500	12.222.000	2,2	»	»	Hervé Mangon.
Marne (Confluent)	2.400	105.000	0,043			
Seine (au-dessus de Charenton)	5.640	129.600	0,023			

Plusieurs ingénieurs ont vivement attiré l'attention publique sur ce côté de la question torrentielle. On peut citer parmi les plus récents MM. Hervé-Mangon (1) et Duponchel; ce dernier est l'auteur d'un projet qui consiste à dériver sur les Landes les eaux des Pyrénées, après les avoir troublées artificiellement (2). Les grands bénéfices réalisés pendant ces dernières années dans les Landes par l'ouverture des chemins de fer et par les semis d'essences résineuses ont détourné l'opinion publique du projet de M. Duponchel; mais l'examen des circonstances locales permet de supposer que cette belle conception tentera les capitaux et l'activité de la génération prochaine. Lorsqu'une tempête violente aura promené sur la surface entière des landes des incendies semblables à ceux qui ravagent la Russie ou l'Amérique, et tels que plusieurs sinistres récents permettent de les prévoir, on pensera peut-être à imiter les beaux colmatages de la Durance et à fertiliser les Landes comme on fertilise la Crau (3). Entraîné par son idée, M. Duponchel considère les montagnes comme un réservoir d'engrais destinés à la plaine, et il accepte avec beaucoup de philosophie les ravages des torrents : c'est, semble-t-il dire, un petit mal pour un grand bien. Il est impossible

(1) *Expériences*, etc... Paris, Dunod, 1869.

(2) *Hydraulique et géologie agricoles*, Paris, Lacroix, 1868.

(3) Il est très-probable que les Dunes et une partie des Landes étaient autrefois boisées et que l'incendie les a dénudées. Il était de tradition chez les druides qu'un incendie parti des Pyrénées s'était propagé jusqu'aux Vosges (*de Kirwan : Correspondant*, 25 juillet 1869). Brémontier attribue à l'incendie la dévastation des dunes sur lesquelle il a commencé ses expériences (*Annales des*

d'accepter ce point de vue. Lorsque la plaine, meilleure ménagère, utilisera seulement la millième partie des limons qui vont se perdre à la mer, alors, il sera temps d'examiner si la montagne doit livrer ses entrailles pour nourrir les basses terres.

Tous les exemples, tous les raisonnements présentés dans ce chapitre et dans les précédents concourent à démontrer l'extrême complication des phénomènes naturels; ils nous avertissent qu'il faut se garder des généralisations et que tous les effets ne peuvent s'expliquer par une cause unique, telle, par exemple, que le *déboisement*.

En ce qui concerne spécialement l'écoulement des eaux et les inondations, il est évident que le rôle des forêts a été exagéré. Les crues sont antérieures au déboisement; lors même qu'on reboiserait la France entière, on ne serait pas assuré de mettre à l'abri du fléau les propriétés qui y sont exposées et qui ne forment pas le vingtième de la superficie totale.

Mais on sait aujourd'hui, par le progrès des sciences, que la crue et la tempête sont deux phénomènes du même ordre; ils procèdent tous deux d'une cause météorologique. Les grandes eaux viennent après les grandes

---

ponts et chaussées). On aura peine à comprendre dans l'avenir que l'opération du boisement des landes ait été entreprise sans qu'aucune disposition légale ait prescrit des *garde-feux*. Des bandes d'arbres feuillus (chênes, bouleaux, etc.) convenablement espacées suffiraient, le plus souvent, pour arrêter l'incendie auquel les essences résineuses, qui sont exclusivement préférées, livrent un aliment trop facile.

pluies, et l'histoire de l'inondation commence toujours par le tableau d'une perturbation atmosphérique.

Voici l'ordre invariable des phénomènes : un cyclone plus violent que les autres traverse l'Atlantique qu'il soulève dans ses profondeurs ; il couvre du débris des naufrages les côtes de France et d'Angleterre, puis il jette un déluge sur les montagnes, et aussitôt nos plus riches vallées sont ravagées par les eaux débordées. Sur la route du météore, une douloureuse clameur s'élève ; les riverains de la mer poussent le premier cri auquel répondent bientôt les riverains des fleuves. — N'est-on pas obligé de reconnaître à ces caractères que ces désastres sont produits par une de ces forces naturelles auxquelles l'humanité est soumise ainsi qu'à la maladie et à la mort ?

Que faire cependant? faut-il rester les bras croisés comme les musulmans fatalistes? — Non ; mais de même que, par les progrès de l'architecture navale, des phares, des sémaphores, des assurances maritimes, les armateurs cherchent à diminuer les effets de la tempête sans prétendre écarter la tempête elle-même ; de même, il faut par des reboisements locaux, par des ouvrages d'art, par le choix des cultures, par des *assurances* (1), etc., organiser le pays en vue des hautes eaux qui sont inévitables. Il est surtout nécessaire que les populations, mesurant ce qui est possible, ne s'endorment pas dans une sécurité trompeuse, sauf à maudire ensuite l'admi-

(1) *Arago*, *Dupuit*, etc.

nistration si elle n'a pas fait ce qu'il était impossible de faire.

Les cas où il est incontestable que l'homme peut diminuer le mal sont ceux où il est certain qu'il a contribué à le développer. Toute rivière, tout fleuve qui divague dans les graviers et qui exhausse son lit peut être assimilé à un torrent; les plaines basses où les alluvions s'accumulent sont un *Cône de déjection* très-aplati ; dès lors il y a un *Bassin de réception* dont l'érosion alimente le charriage : c'est là qu'il faut agir, et si grand que soit le bassin, de même qu'on éteint un torrent en effaçant chaque ride élémentaire de ses berges (*voir ci-après chapitre VIII*), de même on améliorera le cours d'un fleuve en maîtrisant toutes les eaux torrentielles qui le troublent. C'est là une œuvre de longue haleine : raison de plus pour l'attaquer sans tarder.

L'heure est sonnée d'organiser enfin sur des bases utiles le service hydraulique ou plutôt le *service agricole*. Les routes, les canaux, les chemins de fer déjà presque achevés et d'ailleurs devenus des objets de fabrication courante, ne suffisent plus à absorber les capitaux et l'attention du pays. C'est à la mise en valeur du sol lui-même, à l'aménagement des eaux, à l'application pratique des découvertes de la géologie, de l'hydrologie, de la chimie, de la météorologie et des autres sciences qui intéressent l'agriculture, qu'il faut désormais s'appliquer. Là est le champ ouvert à l'ambition de la génération qui nous suit; là sont les services à rendre, là est l'avenir.

Après avoir ainsi passé en revue les principaux ouvrages, qui depuis trente ans, ont traité la question des forêts, nous sommes ramenés en définitive à des conclusions qui ne seront pas nouvelles pour les lecteurs de l'*Etude sur les torrents des Hautes-Alpes*.

En ce qui concerne l'action climatérique des forêts : *cette action est à peine probable ; on l'appuie sur des présomptions plutôt que sur des observations positives ; elle est, en tous cas, variable suivant les circonstances locales* (1). *Il faut la reléguer parmi les infiniments petits de la météorologie.*

En ce qui concerne l'action hydrologique des forêts : *cette action dépend des circonstances particulières à chaque cours d'eau et même à chaque affluent.*

Cette action est d'autant plus certaine et plus énergique que le cours d'eau est plus torrentiel.

Mais ce qu'il est impossible de discuter, ce qui est au-dessus de toute contestation c'est l'influence qu'exercent les forêts sur la conservation du sol des montagnes (2).

En conservant le sol, c'est-à-dire en s'opposant au ravinement, les forêts modèrent l'écoulement des eaux.

Le seul criterium certain de l'utilité hydrologique des forêts, c'est donc le ravinement.

Par suite, une distinction radicale et profonde est à faire entre les forêts de plaine et les forêts de montagne :

---

(1) Comparez *Surell*, page 145 de la 1re édition.
(2) Page 145 de la 1re édition.

les premières sont d'intérêt privé, celles-ci d'intérêt public (1).

Ces propositions nous amènent à rechercher ce qui a été fait pour appliquer à ce mal des torrents dont souffrent les montagnes le seul remède dont l'efficacité est maintenant par tous reconnue.

---

(1) Pages 144, 225 et suivantes de la 1re édition.— La dernière de ces propositions ne se rapporte, comme les précédentes, qu'à l'action hydrologique des forêts. Une forêt de plaine peut, à d'autres points de vue, représenter aussi un intérêt public. Telles sont, par exemple, les hautes futaies, que l'État seul peut conserver et que les particuliers sont fatalement portés à détruire.

CHAPITRE VII.

BOISEMENT ET GAZONNEMENT DES MONTAGNES

(Lois du 28 juillet 1860 et du 8 juin 1864.)

M. Culmann, ingénieur de grande expérience, chargé par le conseil fédéral, après les inondations de 1856, d'inspecter les torrents de la Suisse, ayant été attiré dans notre département des Hautes-Alpes par la lecture des ouvrages spéciaux qu'a fait naître cette terre classique des torrents, rend compte, en ces termes, de cette partie de sa mission :

« ... Nous fûmes déçu dans notre attente. Un seul « torrent a été corrigé et encore n'est-ce pas l'un des « plus redoutables : il ne se trouve pas dans le bassin « si raviné de la Durance, mais dans celui encore pas- « sablement sain de l'Isère... Dans le domaine propre- « ment dit des torrents, on a fait une tentative de reboise- « ment par une plantation de pins de trente à quarante « arpents d'étendue dans le bassin de réception du « redoutable torrent de Chorges.

« Ces ouvrages et quelques autres, sur de petites ri-

« vières de montagnes, sont les seuls résultats pratiques « que toutes les études d'ingénieurs habiles ont produits « depuis la fin du siècle passé...

«... L'administration des ponts et chaussées n'est « nulle part aussi centralisée et aussi bien organisée « qu'en France...

« ... De quelque côté que nous jetions nos regards, « nous sommes attristés par l'impression pénible qu'un « état de choses autrefois meilleur a été anéanti. On « demandera peut-être pourquoi nous nous y arrêtons « si longtemps et en quoi l'état d'un département « étranger regarde la Suisse? Nous avons cru ne pas « pouvoir mieux terminer notre description générale des « torrents qu'en montrant comment une contrée se « ruine peu à peu lorsque sa population ne fait rien « pour l'entretenir, lorsqu'elle se borne à consommer « les produits du sol et qu'elle ne cherche, par aucun « procédé naturel ou artificiel, à réparer ses pertes ni « à conserver sa force de production.

« Que l'on considère cet état de choses pendant qu'il « en est temps encore et que l'on ne réplique pas : nous « ne tomberons jamais si bas ; si la contrée est de plus « en plus négligée, si son état empire indéfiniment, il « finira, ainsi que celui de sa population, par différer si « peu de celui que nous venons de décrire qu'il lui sera « identique. »

Il est affligeant de rencontrer un pareil témoignage dans un document officiel publié en deux langues par un

gouvernement étranger et répandu dans toute l'Europe. C'est un canton de notre France que l'on signale ainsi à tous comme un exemple des maux que peuvent engendrer l'inertie de l'administration. C'est en vain que des voix éloquentes se sont élevées depuis le commencement du siècle ; rien n'a été fait, et les ruines de la vallée de la *Béouse* en Dévoluy sont toujours là pour fournir matière à de navrantes peintures (1).

Si ces paroles sévères ne sont plus vraies aujourd'hui, si quelque chose a été fait, c'est grâce à la loi du 28 juillet 1860 sur le *reboisement* des montagnes et surtout à celle du 8 juin 1864 sur le *gazonnement*. De ces deux lois date une ère nouvelle : leur importance pour l'avenir est telle qu'il importe d'en consigner ici les antécédents et les premiers résultats (2).

« Les anciens édits et les ordonnances antérieures « à 1789 contiennent seulement des mesures excep- « tionnelles pour arrêter les progrès du déboisement. Le « code forestier fut conçu dans le même esprit...

«... Dès 1843, soixante-trois conseils généraux in- « sistaient sur la nécessité des mesures à prendre pour le « reboisement des montagnes. Un rapport et un projet « de loi furent préparés par le directeur général des « forêts en 1845. Ce projet de loi, renvoyé à l'examen « d'une commission composée d'administrateurs et de

(1) *Surell*, chap. XXIX.
(2) Voir aux notes D et E le texte de ces deux lois.

« savants distingués, fut amendé dans plusieurs de ses « parties et soumis à la chambre des députés dans la « session de 1847. Le rapport qui fut présenté par la « commission permet d'apprécier l'importance qu'on « attachait à la question et l'incertitude qui régnait en- « core dans les esprits sur les mesures à adopter. Au- « cune suite ne fut donnée à ce projet de loi (1). »

Ainsi s'exprime M. Magne, ministre des finances, dans son rapport à l'appui du projet de la loi sur le reboisement.

Il est juste cependant de citer ici, comme un premier pas fait antérieurement à la loi de 1860, la fixation des dunes de Gascogne, commencée en 1787, près de la Teste, par Brémontier, ingénieur des ponts et chaussées, interrompue en 1789, reprise en 1791, abandonnée en 1793, poursuivie sans interruption depuis 1801 et presque entièrement achevée aujourd'hui.

La surface totale des landes est de 87,000 hectares. La dépense s'élevait à la fin de 1854 à 5,000,000 fr., et l'on estimait que 4,000,000 fr. devaient suffire pour terminer l'opération, dont le résultat final sera la fixation des dunes et la création d'une valeur forestière de 25 millions.

Il faut rappeler encore la loi du 28 juillet 1860 pour la mise en valeur des communaux (2) et l'initiative per-

(1) *Moniteur universel*, 3 février 1860.
(2) Voir à la note F le texte de cette loi.

sonnelle prise par l'Empereur dans les Landes et la Sologne.

Ce qui fit avorter le projet de 1845, c'est qu'il était trop radical : il soumettait au régime forestier tous les terrains sur lesquels il y avait lieu de régénérer les forêts ou les pâturages. La loi de 1860 limite l'action du gouvernement au reboisement proprement dit et à des périmètres partiels; elle semble même vouloir procéder principalement par subventions consistant, soit en primes en argent, soit en délivrance de graines et plants. L'article 4 admet cependant qu'on pourra recourir à l'expropriation, mais seulement lorsque l'intérêt public l'exige, par suite de l'état du sol et des dangers qui en résultent pour les terrains inférieurs.

L'article 5 multiplie les formalités : il exige, outre l'enquête publique, l'avis du Conseil municipal, du Conseil d'arrondissement et du Conseil général, et enfin celui d'une commission mixte composée du préfet, de membres des conseils général et d'arrondissement, d'un ingénieur des ponts et chaussées, d'un agent forestier et de deux propriétaires. Après ces formalités, un décret fixe l'étendue des périmètres livrés à l'administration des forêts pour être reboisés.

La loi précise la conduite à tenir vis-à-vis des propriétaires et des communes dont les territoires sont enclavés dans les périmètres et qui ne pourraient ou ne voudraient effectuer eux-mêmes les travaux; la loi détermine aussi la comptabilité des avances à faire

par l'État et le partage des bénéfices résultant de l'opération.

Enfin, la loi affecte à ces travaux un crédit de dix millions répartis en dix exercices et résultant pour 5 millions d'une aliénation des forêts et pour le surplus de coupes extraordinaires ou des ressources ordinaires du trésor (art. 14).

Telle est l'importante loi que le Corps législatif, après de longs pourparlers entre sa commission et le Conseil d'Etat, a votée, le 18 juillet 1860, à la fin d'une séance et sans discussion.

Le Ministre estimait à 1,133,000 hectares la superficie totale des terrains susceptibles de reboisement, et la commission, calculant que des reboisements déjà effectués résultait un prix de revient de 180 fr. l'hectare dont les particuliers et les communes prendraient une part à leur charge, évaluait à 80,000 hectares la surface qui serait transformée avec ces dix millions.

C'était donc seulement un quatorzième de la surface totale à reboiser qui profiterait de la loi, en sorte qu'à ce compte il aurait fallu 140 ans environ pour achever le reboisement des montagnes. Ce délai n'a rien d'exagéré pour une œuvre de cette nature, car il s'agit de guérir un mal dont l'origine remonte à vingt siècles. — Il était d'ailleurs convenu que les premiers efforts seraient dirigés vers les points les plus menacés.

Comme il faut toujours s'y attendre, la pratique ré-

véla bientôt des difficultés dont on n'avait pas suffisamment tenu compte. Le mot de reboisement effraya les populations pastorales; on leur promettait des herbages sous bois dans vingt ans; mais, en attendant, leurs troupeaux, leur seule ressource, comment les nourriraient-ils? — « L'opération est d'une injustice fla- « grante, » — criaient-ils, — « on ruine la montagne « pour enrichir la plaine! »

L'administration des forêts était alors dirigée par M. Vicaire, mort prématurément, et que son caractère conciliant, sa constante sollicitude pour l'intérêt des populations, rendaient éminemment propre à diriger l'œuvre délicate du reboisement. L'administration reconnut aussitôt ce qu'il y avait de fondé dans les plaintes des montagnes : elle résolut d'y faire droit. Cependant la loi ne parlait que de reboisement, les pouvoirs de l'administration, les ressources mises à sa disposition avaient pour unique objet le reboisement. Il fallut recourir à un expédient.

On crut le trouver dans la loi sur la mise en valeur des biens communaux. La plupart des terrains à reboiser étant communaux, on pensait pouvoir unir les deux causes et confondre les ressources pour une action commune. Une *Commission mixte* fut même nommée par les trois ministères intéressés ; mais les deux lois qu'il s'agissait, si l'on peut dire, d'atteler ensemble, ont des allures trop différentes. La loi sur le reboisement a pour objet la sécurité, l'autre la richesse publique. La première procède par décrets avec crédits et subven-

tions, la deuxième par arrêtés préfectoraux accordant de simples avances. Par la première, les Agents des eaux et forêts sont chargés de reconstituer la propriété communale ; pour obéir à la seconde, les Ponts et Chaussées travaillent à convertir les communaux en propriétés privées.

La Commission mixte reconnut bientôt son impuissance, et le gouvernement dut proposer au Corps législatif de compléter la loi sur le *reboisement* par celle relative au *gazonnement*.

« L'article premier de cette loi, en reproduisant la « définition de l'article 4 de la loi du 28 juillet 1860, « a pour objet de délimiter l'objet de la nouvelle loi et « de bien montrer qu'elle se borne à compléter la pre- « mière. Il doit être bien entendu, en effet, que l'action « du département des Finances ne devra pas se substi- « tuer à celle du département de l'Agriculture, du « Commerce et des Travaux publics, que l'adminis- « tration des forêts n'usera de la faculté de provoquer « ou d'exécuter des gazonnements que sur les terrains « situés en montagne, en se plaçant exclusivement au « point de vue de l'utilité générale, dans l'intérêt de la « régularisation des cours des eaux et de la consolida- « tion des terrains, enfin dans des conditions identiques « à celles qui lui ont fait accorder déjà la faculté d'en- « courager ou d'exécuter des reboisements (1). »

---

(1) *Victor de Lavenay, conseiller d'État : rapport au Corps législatif.* (*Revue des eaux et forêts* 1864, p. 196.)

Les articles 3 et 5 sont des mesures d'ordre; l'article 4 limite au tiers de la superficie à gazonner dans une seule commune la surface qui peut être mise en défends. L'article 6 admet en principe que des indemnités pourront être accordées aux communes les plus pauvres que la privation du tiers de leurs pâturages placerait dans une situation trop pénible. L'article 7 crée la ressource financière affectée à l'exécution de la loi; cinq millions seront demandés à des coupes extraordinaires que l'administration a reconnues possibles dans les forêts de l'État.

La loi fut votée dans la séance du 24 mai 1864, à l'unanimité des voix. Cette seconde loi, relative au *gazonnement*, était un progrès véritable; elle donnait satisfaction aux griefs légitimes formulés contre la première loi, celle de 1860 relative au *reboisement*. Il faut, en effet, reconnaître que la loi de 1860 favorisait la plaine aux dépens de la montagne, et que les riantes promesses de l'avenir ne pouvaient compenser pour les communes pastorales la confiscation actuelle de leurs pâturages.

Le principe de l'indemnité facultative a mis aux mains de l'Administration des forêts un puissant moyen d'action. Les récriminations des paysans de nos montagnes n'étaient que trop justifiées par leur extrême pauvreté; de modestes indemnités les ont aussitôt ramenés à leur patience et à leur bon sens naturels.

Qu'elle n'est pas d'ailleurs la puissance des mots!...

Dès que la loi nouvelle fut promulguée, il fut bien compris qu'il ne s'agissait plus de *reboiser*, mais de *gazonner*, et, dans l'imagination populaire, les roches les plus dénudées se couvrirent aussitôt de vastes pelouses où l'on pourrait désormais lâcher les troupeaux sans contrainte.

Mais une autre révolution ne tarda pas à se faire dans les esprits. Le plus grand nombre s'aperçut que quelques-uns de ceux qui criaient le plus fort, n'avaient en vue que leur intérêt personnel : eux seuls, en effet, étaient assez riches pour entretenir des troupeaux sur les pâturages de la commune; eux seuls avaient la main dans les marchés par lesquels ces pâturages sont affermés; eux seuls contrôlaient le nombre des bêtes admises sur le territoire communal; et qui, jamais, s'était avisé de vérifier leurs comptes?—On comprit enfin que l'intérêt de la commune était de soumettre les communaux à l'Administration, afin de les voir exploiter dans l'intérêt de tous et non pas seulement au profit de quelques-uns (1).

Aujourd'hui, après six ans de pratique, l'opposition

---

(1) « Chose digne de remarque, les mises en défends n'ont pour « ainsi dire entraîné que la suppression des bêtes de commerce « achetées au printemps par un très-petit nombre de particuliers « pour faire dévorer pendant la belle saison, non-seulement les « pâturages communaux, mais encore les propriétés particu- « lières, ce qui a fait dire aux habitants dans beaucoup de com- « munes que ces mises en défends les avaient affranchis de l'in- « supportable tyrannie qu'exerçaient sur eux les spéculateurs. »
(M. *Séguinard*, *conservateur des Hautes-Alpes et de la Drôme.* — *Rapport du 4 octobre* 1868.)

n'existe plus entre la plaine et la montagne ; et, si les travaux de restauration des montagnes (*reboisement et gazonnement*) agitent encore ces petites républiques de pasteurs cachées dans les replis des Alpes, c'est en réveillant dans leur sein la guerre éternelle de la démocratie contre l'aristocratie, du prolétaire contre le propriétaire. Mais, dans ce temps de suffrage universel, il est aisé de prévoir de quel côté penchera la balance, et l'on peut espérer que, peu à peu, l'Administration, représentant l'intérêt de tous, étendra son contrôle tutélaire sur l'ensemble des communaux.

Il est intéressant de recueillir, au sein du Conseil général des Hautes-Alpes, l'écho des divers mouvements de l'opinion dans le département.

Session de 1860. — Le préfet annonce la loi pour la mise en valeur des communaux et celle pour le reboisement des montagnes. Le Conseil général *vote une subvention de* 500 *francs*.

Session de 1861. — Compte-rendu des premières études. *Le Conseil vote* 1.200 *francs*.

Session de 1862.— Vingt-cinq avant-projets ont satisfait aux formalités légales ; ils embrassent 60.000 hectares dont à reboiser immédiatement 6.800, à gazonner 790, à mettre en défends 13.533. La dépense est évaluée à 158.000 francs. — *Le Conseil vote une subvention de* 3.000 *francs*.

Les fonctionnaires des eaux et forêts, les ingénieurs

se sont associés avec zèle; les rapports lus au Conseil témoignent d'une foi bien vive; mais le Conseil lui-même accueille froidement ces communications, on sent que l'opposition, contenue encore, ne tardera pas à éclater. Le préfet répond à des objections qu'on ne formule pas, mais qui sont dans l'air... On a, paraît-il, représenté les agents forestiers comme des *ogres prêts à dévorer un jour les troupeaux et les pâtres*... La nature de l'opposition se révèle nettement : c'est la montagne contre la plaine... Voici un exemple :

Les projets d'extinction des torrents du *Sapet* et du *Devezet* sont mis à l'enquête dans trois communes : *Ancelle* et *Saint-Léger*, sur la montagne, et *Labâtie-Neuve*, dans la plaine. Le Préfet rend compte de cette affaire en ces termes : « Appelés à donner leur avis, « les représentants de la commune d'*Ancelle* déclarent « formellement voter contre le projet. M. le chef de la « commission des reboisements (*M. Costa de Bastelica*), « qui assistait officieusement à la séance, sur ma con- « vocation, afin d'être à même de fournir les rensei- « gnements dont on aurait besoin, étonné d'un refus si « peu motivé, demande la parole et fait observer qu'il « s'agit d'un intérêt très-minime pour *Ancelle*, tandis « que, d'une autre part, la commission a eu en vue de « préserver toute une vallée. Rien n'y fait : le vote est « négatif. On passe aux représentants de la commune « de *Saint-Léger* : même vote négatif. — Mais vous « n'êtes consultés, leur dit-on, que pour un intérêt « très-indirect, à cause d'une portion de terrain in- « divise. Veuillez expliquer votre opposition à l'exé-

« cution d'un projet dont il est impossible de contester « l'utilité. — Réponse : Le torrent passe bien au- « dessous de chez nous et ne peut nous faire de mal. — « Mais ce petit coteau de territoire indivis est déjà « soumis au régime forestier. — Réponse : Oui, « mais l'Administration des forêts nous y permet le par- « cours; ce parcours sera interdit demain, si l'on exé- « cute des semis dans le bois dégarni. — Vient le « tour des délégués de *Labatie-Neuve;* ceux-ci applau- « dissent au projet et protestent énergiquement contre « ce qu'ils appellent l'égoïsme de leurs voisins; ils dé- « montrent surabondamment ce qu'il y a d'injuste et « de cruel à laisser plus longtemps des communes en- « tières situées en aval, exposées à des désastres jour- « naliers lorsque, en réalité, on ne cause aucun dom- « mage appréciable à *Ancelle* et à *Saint-Léger*. Les « efforts des délégués de *Labatie* sont impuissants à « obtenir la moindre concession. Ils étaient deux contre « quatre, et la majorité n'est acquise au projet que par « l'appui que lui prêtent le conseiller général, le con- « seiller d'arrondissement et les autres membres perma- « nents de la commission (1). »

Ce petit tableau de famille pris sur le vif est plein d'enseignements. Qui contestera maintenant que l'intervention de l'État si énergiquement réclamée par M. Surell ne fût nécessaire (2)? — Pourquoi donc fau-

(1) *Comptes rendus du Conseil général des Hautes-Alpes* (session de 1862).

(2) Voyez au premier volume les chap. XXVII et suivants.

drait-il émanciper ces paysans qui, sans mauvaise intention, mais, par ignorance, blessent leurs propres intérêts et ceux du pays? La tutelle de l'État leur est nécessaire jusqu'au jour où, par le progrès des lumières et du bien-être, leurs esprits seront ouverts aux claires leçons de l'expérience. Ce jour peut-être n'est pas éloigné.

Session de 1863. — Vingt-six nouveaux projets sont présentés : la commission du Conseil général leur oppose les doléances des communes. Le préfet, que préoccupent sans doute la situation politique et les élections prochaines, se montre beaucoup moins ferme que l'année précédente; le Conseil vote encore 3.000 francs, mais en demandant la révision de la loi et la stipulation d'une indemnité préalable pour les communes privées de leurs pâturages.

Session de 1864. — Le rapport du préfet garde sur notre objet un silence prudent; il parle de tout excepté de la seule affaire du pays, du reboisement. La commission du Conseil est moins réservée, elle constate les protestations unanimes des paysans : des violences ont eu lieu aux environs d'Embrun; l'intervention des soldats est devenue nécessaire, et, de la plaine, on a pu voir, dans les montagnes, briller l'éclair des baïonnettes. Le Conseil réclame l'application aussi large que possible de la loi du 8 juin 1864, c'est-à-dire substitution du *gazonnement* au *boisement*, distribution libérale d'indemnités; ***toutefois il croit devoir réduire sa subvention de*** 3.000 ***francs à*** 500.

Session de 1865. — Le succès des premiers travaux commence à porter ses fruits : le préfet aborde de nouveau la question du reboisement et la commission du Conseil en fait l'objet d'un long rapport où l'on célèbre les bienfaits de « *cette loi qu'on a maudite et qu'il faudrait bénir.* » Le Conseil réclame la prompte exécution des travaux et qualifie sévèrement l'attitude du conservateur des forêts, dont la résidence est fixée à Gap par un décret de l'Empereur et qui s'est néanmoins établi à Valence. Ce rapport nous apprend que deux communes seulement ont demandé les indemnités auxquelles elles ont droit, et blâme le peu d'empressement des autres à profiter d'une loi si avantageuse.

Session de 1866. — Le nouveau conservateur, *M. Séguinard*, a fixé sa résidence à Gap; déjà « son expé- « rience éclairée, sa fermeté bienveillante » lui ont conquis toutes les sympathies du Conseil. « Le service « du reboisement fonctionne d'une manière satisfai- « sante. En 1865, l'ensemble des travaux donnait les « résultats suivants :

Étendue reboisée.	664	hectares.
Id. regazonnée.	3,400	»
Nombre de barrages construits.	2,797	»
Longueur de clayonnages.	26,500	»
Id. des barrages vivants.	22,267	»
Id. des fossés de drainage. . . .	727	»
Id. des chemins.	12,695	»

« Il avait été dépensé à ces travaux 103.196 francs. » Le Conseil, cependant, émet le vœu que les indemnités aux communes soient obligatoires et non facultatives,

et que les propriétaires dont on aura reboisé les terrains soient dispensés de rembourser à l'État les avances qu'il aura faites. — *Finalement le Conseil vote un crédit de* 500 *francs*.

Session de 1867. — « ... L'expérience a parlé, et, si « voisins que nous soyons encore du jour où fut dé- « crétée la régénération des montagnes, le succès de « cette grande œuvre est désormais assuré. Les ré- « sultats presque inespérés déjà obtenus sur plusieurs « points permettent de compter d'une manière absolue « sur le résultat final; ils permettraient peut-être de « dire dès à présent le jour où, étant donnés les moyens « suffisants d'action, nos grandes pentes seraient res- « taurées, les terrains déclives consolidés et les torrents « principaux qui désolent nos Alpes éteints ou du moins « réprimés. »

« ... Le fait qui domine dès à présent dans les opé- « rations de la commission du reboisement, c'est la « substitution, partout où elle est possible, du *regazonne- « ment* au *reboisement*. Le gazonnement ne peut man- « quer d'améliorer, dans un avenir peu éloigné, le sort « des populations pastorales, tandis que le boisement « les priverait pendant un siècle de la jouissance des « terrains sur lesquels il serait pratiqué même avec le « plus de succès. »

Ainsi s'exprime la commission du Conseil, qui signale ensuite avec reconnaissance la féconde impulsion donnée au service par *M. Séguinard*. — *Le Conseil vote une subvention de* 500 *francs*.

Session de 1868. — Le rapport du préfet constate « que l'œuvre du reboisement et du regazonnement fait « chaque année de grands progrès dans le département, « et que, partout où des travaux de cette nature ont été « entrepris, les populations, mieux éclairées sur le but « de l'opération et sur les moyens mis en pratique, se « montrent satisfaites. » — Quant à la commission du Conseil, son rapport s'élève au lyrisme. Le chef du service des reboisements, *M. Costa de Bastelica*, avait dit dans un rapport : « *Venez voir et vous serez édifiés.* » La commission s'est transportée sur le périmètre du *Sapet,* et, rendant compte au Conseil de cette visite, elle s'exprime ainsi :

« Quant à vos commissaires, les mêmes qui, en 1866, « avaient vu les travaux de ce périmètre à l'état d'em- « bryon, ils ne sauraient vous dire ce qu'ils doivent le « plus louer de l'admirable harmonie qui caractérise « l'ensemble de ces travaux ou des résultats merveilleux « déjà obtenus.

« ... Aussi, pouvons-nous dire avec la même foi qui « anime notre éminent conservateur : *après un tel bap-* « *tême, les succès obtenus nous donnent l'espérance que* « *désormais l'œuvre de consolidation et de régénération* « *des montagnes est assurée. Nous sommes sûrs que nous* « *sauverons votre pays, si vous nous secondez et si nous* « *recevons des crédits suffisants.* »

Le Conseil porte la subvention de 500 *francs à* 1.000 *francs.*

Dans cette même session de 1868 ont été présentés au Conseil plusieurs projets d'extinction à exécuter aux environs de Briançon. Ce sont les premiers projets étudiés dans cette partie du département; aussi l'opposition locale est-elle vive :

« Obéissant à des appréhensions qui faisaient re-
« pousser avec une véritable passion par les popu-
« lations intéressées les périmètres aujourd'hui en
« pleine voie de restauration de *Chagnes*, de *Vachères*,
« de *Sainte-Marthe*, etc., les populations, les Conseils
« municipaux des communes de *Cervières*, de *Briançon*
« et du *Monêtier*, ainsi que le Conseil d'arrondissement
« de *Briançon*, protestent contre l'approbation de ces
« nouveaux périmètres. »

La commission pense que ces résistances ne sont pas justifiées, et le Conseil, sans s'y arrêter, approuve les projets présentés.

Les citations qui précèdent permettent d'apprécier ce qu'étaient à l'origine et ce que sont aujourd'hui les dispositions des populations. Cette conversion éclatante doit être attribuée sans doute à l'excellence même de l'opération; mais la prudente et judicieuse conduite de l'administration des forêts, sa préoccupation constante des intérêts locaux, les bons salaires qu'elle a répandus dans les villages ont largement contribué à ses succès (1).

---

(1) L'administration des forêts a toujours eu l'honneur et la fortune d'être dirigée par des hommes éminents, dévoués au bien

C'est dans les rapports de M. Séguinard qu'il faut chercher ce que l'on peut appeler la philosophie de l'opération. L'extinction des torrents est maintenant une science faite, et ses principes sont déduits, par M. Séguinard, en théorèmes clairs et substantiels :

« Si le boisement est l'unique moyen d'éteindre sû-
« rement les ravinements, il n'est pas indispensable
« partout pour fixer le sol. C'est encore la nature qui
« enseigne qu'en dehors des déchirements, sauf sur
« quelques points, le terrain peut se consolider naturel-
« lement si on le protége contre l'abus du pâturage.
« Ainsi l'extinction des torrents exige seulement : 1° que
« l'on boise les ravinements; 2° que l'on réglemente les
« pâturages; 3° que l'on fortifie, par des boisements
« partiels les points les plus exposés, principalement à
« la tête des ravinements, en employant des plantations
« de haute tige pour entraver le moins possible l'exer-
« cice du pâturage. »

« ... Dans les ravinements, les arbres de futaie, en
« raison des difficultés de vidange, ne peuvent avoir
« qu'une faible valeur; les grands bois ne couvrent
« qu'imparfaitement le sol et le protégent moins évi-

---

public. Après MM. *Forcade de la Roquette* et *Vicaire*, M. *Faré*, frappé de l'importance de cette question du reboisement et de la grandeur du service qu'il pouvait rendre, s'est dévoué avec zèle à cette tâche, et dans les gorges les plus reculées de nos Alpes, les paysans ont vu le Directeur général sonder lui-même les plaies de la montagne et ordonner le remède.

« demment que des taillis jeunes et serrés, c'est-à-
« dire la broussaille (1).

« Les arbres de faibles dimensions ne tentent pas les
« délinquants; plantés sur des bandes horizontales, d'au-
« tant plus espacées que la pente est plus roide, les
« jeunes bois favorisent entre ces bandes, par la fraî-
« cheur qu'ils y entretiennent, la croissance des plantes
« herbacées qui, au bout de quelques années, peuvent
« être livrées à la consommation, chose très-essentielle
« dans un pays pastoral. De plus, dans presque toutes
« les localités, on nourrit l'hiver les bestiaux avec des
« feuilles et de jeunes pousses coupées en vert au com-
« mencement de septembre.

« Par conséquent, on satisfait tous les intérêts : 1° En
« reboisant les ravinements par bandes alternes à l'aide
« d'essences feuillues, repoussant facilement de souche,
« pouvant être exploitées à une courte révolution, con-
« ditions remplies par les acacias, les ormes, les frênes,
« les érables et les bois blancs;

« 2° En gazonnant le terrain entre les bandes; mais
« il ne suffit pas de fermer les brèches actuelles, il faut
« éviter qu'il ne s'en forme d'autres.

« L'exercice immodéré du pâturage étant la cause

(1) Comparez *Surell*, chap. XLI, page 214, de la première édition.—Ce passage ne se retrouve plus dans le premier volume de la présente édition.

« principale des dégradations, il importe donc essentiel-
« lement de le réglementer. C'est une nécessité et un
« devoir impérieux pour les propriétés communales.
« En effet, si les communes sont propriétaires, les gé-
« nérations qui se succèdent ne sont qu'usufruitières et
« doivent jouir en bon père de famille, c'est-à-dire
« améliorer constamment et non détruire, et il appartient
« à l'autorité préfectorale, leur tuteur, de régler leur
« jouissance ; donc l'abus n'est pas permis et doit être
« énergiquement combattu.

« Les bases de l'opération matérielle posées, il convient
« d'examiner qui doit équitablement supporter les frais
« de cette opération.

« Les lois de 1860 et de 1864 ont tracé, à cet égard,
« des règles qui ne satisfont pas les populations des
« montagnes, et qui même, dans beaucoup de commu-
« nes, les rendent très-hostiles. — Elles pensent que
« l'extinction des torrents, étant commandée par l'in-
« térêt général, doit être mise complétement à la charge
« de l'Etat, comme tous les autres travaux d'intérêt
« public (canaux, routes, etc.). — Elles trouvent injuste
« que, ne demandant rien aux riches populations des
« vallées que la régénération des montagnes a princi-
« palement pour but de protéger, on vienne escompter
« le bénéfice, qu'elles, déshéritées, doivent retirer de
« cette utile opération. — Bien plus, elles croient avoir
« droit à une indemnité pour le trouble que l'extinction
« des torrents apportera nécessairement dans leurs ha-
« bitudes et dans leurs moyens d'existence.

« On ne peut se dispenser de reconnaître que ces « prétentions ne sont pas dénuées de fondement, » dit ensuite l'honorable conservateur. Puis après avoir fait quelques réserves inspirées par l'exercice immodéré du pâturage, abus, qui, amenant la ruine des montagnes, est la cause première des inondations qui viennent, à de courts intervalles, désoler les vallées; après avoir constaté, avec la sagacité qui le distingue, que la législature de 1860 et 1864 ne s'expose pas à ce que l'on donne aux communes, sous forme de subventions, les sommes nécessaires pour la consolidation des terres dans les ravinements, il termine en ces termes ce remarquable rapport : « Par les considérations qui précèdent, le « conservateur demande a être autorisé, lors de sa pro- « chaine tournée, à promettre aux communes intéressées « qu'à l'avenir l'Etat prendra à sa charge tous les tra- « vaux que réclame impérieusement l'extinction des « torrents, indemnisera dans une juste mesure les com- « munes qui auront à en souffrir, et aidera celles qui « travailleront sérieusement au reboisement de leurs « montagnes, *à la condition que les terrains com- « munaux seront régis par l'administration fores- « tière.* »

Pour satisfaire au désir exprimé par le Corps législatif, lors de la discussion de la loi du 28 juillet 1860 sur le reboisement des montagnes, l'administration des forêts a présenté chaque année un compte rendu des travaux faits en application de la loi.

L'extrait suivant du compte rendu relatif aux exer-

cices 1867-1868, résume l'ensemble des opérations, depuis la promulgation de la loi (1).

« Le montant total des dépenses faites en vertu des « lois du 28 juillet 1850 et du 4 juin 1864, jusqu'à la fin « de 1868, est de 10,187,240$^{fr.}$,34. D'après ces deux « lois, la dépense aurait dû s'élever à 10,500,000 fr. « dans le même laps de temps. Il y a donc encore « 312,759$^{fr.}$,66 de reliquat, qui devront être fournis « par le produit des coupes extraordinaires faites ou à « faire dans les limites tracées par les lois spéciales.

« Afin de mettre sous les yeux de Votre Excellence « un résumé complet des opérations depuis l'époque où « la loi du 28 juillet 1860 a commencé à être appliquée, « j'ai récapitulé dans le tableau suivant toutes les con- « tenances *reboisées* ou *gazonnées* jusqu'à la fin de « 1868 :

---

(1) Ce compte rendu, rédigé par M. *Faré*, porte la date du 30 mai 1870.

ANNÉES.	REBOISEMENTS FACULTATIFS.				REBOISEMENTS ET GAZONNEMENTS OBLIGATOIRES.			CONTENANCE totale des terrains reboisés et regazonnés.
	TERRAINS domaniaux. — Contenance.	TERRAINS communaux et d'établissements publics. — Contenance.	TERRAINS particuliers. — Contenance.	CONTENANCE totale.	REBOISEMENTS. — Contenance.	GAZONNEMENTS. — Contenance.	CONTENANCE totale.	
	h. a.	h. a.	h. a.	h. a.	h. a.	h. a.	h. a.	h. a.
1861.	1,401 95	2,653 70	583 92	4,639 57	»	»	»	4,639 57
1862.	1,866 03	5,774 58	1,714 15	9,354 76	2,061 87	»	2,061 87	11,416 63
1863.	1.750 88	7,073 24	2,157 05	10,981 17	1,853 57	»	1,853 57	12,834 74
1864.	1,834 70	6,164 32	1,601 01	9,600 03	2,592 29	»	2,592 29	12,192 32
1865.	1,170 26	5,198 01	1,392 50	7,760 77	3,107 96	1,050 59	4,158 55	11,919 32
1866.	986 09	2,909 42	1,739 75	5,635 26	2,811 10	1,144 49	3,955 59	9,590 85
1867.	611 25	2,783 68	2,007 32	5,402 25	3,263 94	335 48	3,599 42	9,001 67
1868.	216 50	2,663 20	2,129 63	5,009 33	2,886 97	212 50	3,099 47	8,108 80
Totaux. . .	9,837 66	35,220 75	13,325 33	58,383 14	18,577 70	2,743 06	21,320 76	79,703 90

« Ce tableau, dans lequel les relevés sont faits année « par année, montre que les travaux ont porté sur une « contenance totale de 79,703 hectares. La part affé- « rente aux entreprises exécutées par la voie facultative « est de 58,383 hectares. Celle des travaux obligatoires « est de 21,320 hectares.

« Bien que l'exercice 1869 ne soit pas clos et que les « fonds de l'exercice 1870 soient à peine engagés, on « peut prévoir qu'à la fin de l'année courante l'étendue « totale des reboisements effectués embrassera près de « 95,000 hectares, dont 25,000 au moins repeuplés « par la voie obligatoire. Tel sera approximativement « le bilan de la première période décennale de l'œuvre « de restauration des montagnes prescrite par la loi du « 28 juillet 1860. Toutefois il ne faudrait pas limiter « aux contenances qui viennent d'être indiquées l'in- « fluence réelle des travaux. Pour comparer les résultats « obtenus aux dépenses effectuées, il faut tenir compte « non-seulement de la surveillance et de la réglemen- « tation du parcours dans les parties non repeuplées des « périmètres, mais encore et surtout des nombreux bar- « rages qui font sentir leur action protectrice à de très- « grandes distances jusque dans les vallées. »

Le département des Hautes-Alpes avait absorbé à lui seul à la fin de 1869 une somme de 1,074,136$^{fr.}$,51 sur la dépense totale d'environ 10,500,000 fr. Cette part d'un dixième, faite par la justice distributive de l'administration, montre combien le mal est grave dans ce département. La surface totale livrée à l'administra-

tion dans les Hautes-Alpes s'élève à 85,962 hectares, répartis entre 13 périmètres; 16,903 hectares ont donné lieu à des travaux de restauration (boisement ou gazonnement); 13,460 hectares ont été seulement interdits aux troupeaux et abandonnés au gazonnement naturel.

En face des dépenses autorisées par la loi, il faudrait placer les bénéfices qui en ont été le résultat. Mais, si l'on a le sentiment que ces bénéfices sont considérables, on ne possède cependant aucun moyen de les chiffrer. Voici toutefois quelques renseignements dus à l'extrême obligeance de M. Gentil, ingénieur en chef des ponts et chaussées dans les Hautes-Alpes, qui s'est associé à l'œuvre du reboisement par une constante sympathie et par l'autorité de ses conseils.

« ... L'aspect de la montagne a brusquement changé, « le sol a acquis une telle stabilité que les violents orages « de 1868, qui ont provoqué tant de désastres dans les « Hautes-Alpes, ont été inoffensifs dans les périmètres « régénérés.

« La montagne en peu de temps est devenue produc- « tive ; là, où quelques moutons pouvaient à peine vivre « en détruisant tout, on voit des herbes abondantes sus- « ceptibles d'être fauchées.

« Ce mode de mise en valeur (on pourrait dire de « culture), est remarquable en ce sens qu'il fournit aux « populations précisément ce dont elles ont besoin, « et le leur fournit à bref délai. Les populations des

« Hautes-Alpes sont essentiellement pastorales : ce qui « leur faut, ce sont des ressources pour l'alimentation « des troupeaux ; elles les trouveront dans les périmè- « tres, soit par les herbes qui seront fauchées, soit par « la feuille des frênes et des ormeaux plantés sur les « banquettes ; de plus les acacias donneront bientôt des « bois qu'on emploiera dans la culture de la vigne.

« M. Séguinard a surtout tenu, dans la création de la « végétation, à satisfaire aux besoins actuels et immé- « diats des habitants : en agissant ainsi, il s'est concilié « le concours et l'appui des populations, qui compren- « nent très-bien que, dans un avenir prochain, elles « trouveront, grâce à l'administration forestière, des « ressources sérieuses et plus abondantes pour l'alimen- « tation des bestiaux. Les populations étaient au con- « traire très-nettement hostiles, lorsqu'elles redoutaient « de subir indéfiniment l'interdiction du pâturage, dans « l'espoir lointain de forêts, dont jouiraient les généra- « tions à venir, forêts dont la réussite était même re- « gardée comme très-incertaine et très-problématique « et non sans raison, car les tentatives faites autrefois « avaient généralement avorté.

« En parcourant les périmètres en cours de régéné- « ration, on peut apprécier combien le sol s'est trans- « formé et consolidé : on peut, sans être accusé de rêver « à des utopies, prévoir que bientôt certaines portions « pourront être cultivées et seront amenées par des soins « et par l'arrosage à l'état de prairies naturelles.

« Par le fait de la consolidation du sol et de la végé-

« tation, les caractères torrentiels, si bien décrits par « M. Surell, ont disparu. Les eaux, même en temps de « pluie, sont moins troubles; elles sont meilleures pour « l'arrosage. Cela est constaté par tous les propriétaires « qui utilisent les eaux des torrents pour l'irrigation de « leurs terres.

« Il n'y a plus de crues violentes et subites : les eaux, « en arrivant sur les cônes de déjection, ne sont plus « chargées de matières; elles s'encaissent naturelle- « ment dans leurs dépôts. En enlevant et en transpor- « tant plus loin les menus matériaux, elles mettent à « découvert les pierres d'un gros volume, et se consti- « tuent un lit solide et fixe. Les divagations sont moins « à redouter et moins dangereuses, et à peu de frais les « riverains peuvent se défendre.

« Mais il importe de citer des exemples et des chif- « fres. Je citerai des faits précis qui concernent nos routes « ou nos projets.

« A Sainte-Marthe, on avait étudié, en 1861-1862, « un projet de construction sur le cône de déjection, « rive gauche du torrent. Cette digue, évaluée 40,000 fr. « environ, avait pour but de préserver la route impé- « riale n° 94 et les propriétés riveraines contre les en- « vahissements du torrent. Ces travaux n'étaient en réa- « lité qu'un remède provisoire; la digue eût été, au bout « de quelques années, ensevelie sous les déjections du « torrent. Aujourd'hui le torrent de Sainte-Marthe est « complétement éteint : il ne descend rien de la monta- « gne. *Les propriétaires et les ingénieurs ne songent*

« *plus à des digues; de simples murs de clôture suffisent*
« *pour protéger les terres riveraines.*

« Le torrent de Pals, commune de Rizoul, traverse « la route départementale n° 4, et la route impériale « n° 94. En 1865, j'ai fait étudier le projet des travaux « à faire pour endiguer ce torrent, en fixer le lit, et le « conduire directement au Guil, en évitant la route im- « périale n° 94 : c'était une dépense de 25,000 fr. au « moins. Depuis cette époque, le bassin de réception a « été régénéré et consolidé, le torrent s'est éteint, le « déplacement du lit est devenu inutile, on s'est borné « à construire sur la route n° 94, un aqueduc pour le « passage des eaux de Pals; *un ouvrage de* 1,000 *fr.* « *a suffi là où l'on prévoyait une dépense de plus de* « 25,000 *fr.*

« Le torrent de Rioubourdoux, près de Savines, avait « une violence excessive; il charriait beaucoup de ma- « tériaux, et l'établissement d'un pont pour le passage « de la route impériale n° 94 était considéré comme « une entreprise difficile et incertaine : aussi la tra- « versée du cône de Rioubourdoux s'effectuait à ciel « ouvert, et la circulation était interrompue à chaque « pluie, à chaque orage. L'administration forestière a « mis en défends le bassin de réception et a commencé « les travaux de consolidation. Le régime du torrent s'est « modifié : on a pu, sans dépenses excessives, fixer dé- « finitivement le lit sur le cône et construire un pont; « les eaux n'amènent plus de matières de la montagne. « La dépense pour la construction de la route, la fixa-

« tion du lit par des digues, et l'établissement d'un pont « a été de 40,000 fr. environ : les études faites ancien- « nement évaluaient ces travaux à 60,000 fr. *Le chan-* « *gement de régime du torrent a rendu possible l'exécu-* « *tion de travaux définitifs, et, en outre, a permis de les* « *exécuter à moins de frais.*

« Ces trois exemples concernent spécialement nos « routes : ce sont les seuls que je puisse vous préciser « avec des détails et des chiffres. Les autres périmètres « attaqués par l'administration forestière sont loin des « routes et ne les intéressent pas aussi directement ; je « ne puis, par conséquent, donner de chiffres : mais « il est certain pour moi qu'on a des résultats ana- » logues.

« Quoi qu'il en soit, ces exemples sont, à mon avis, « très-frappants, et donnent une mesure des avantages « réalisés. Quant aux bénéfices dont profitent les terres « situées dans les vallées, près des cônes, ils sont im- « menses. Non-seulement les propriétaires sont délivrés « d'endiguements coûteux et précaires, mais encore leurs « héritages, n'ayant plus à redouter d'être brusquement « ensevelis sous les graviers, prennent une valeur cer- « taine. On cultive avec l'espoir assuré de jouir de la « récolte. Cette certitude est un bienfait énorme : le pro- « priétaire, comptant sur l'avenir, ne songera pas à s'ex- « patrier.

« L'extinction successive des grands torrents qui se « jettent dans les vallées principales, amènera inévita- « blement une amélioration notable dans le régime de

« ces cours d'eau, et cette amélioration s'étendra bien à « l'aval...

« ... Il paraît établi, ou du moins c'est l'opinion des « habitants, que les eaux venant des périmètres régéné- « rés sont sujettes à moins de variations brusques dans « leur débit et que les canaux d'arrosage qui les reçoi- « vent sont alimentés d'une manière plus régulière. Cela « me semble probable et naturel ; mais je ne puis don- « ner à cet égard aucun chiffre précis; je ne puis citer « aucune expérience ou observation concluante et pé- « remptoire ; je me borne à répéter ce que j'ai entendu « dire et ce que je crois être vrai.

« ... A la fin de 1867, pour 81,012 hectares à ré- « générer et à consolider, M. Séguinard évaluait la dé- « pense à 4,113,000 fr. Ces chiffres sont extraits de « l'annuaire des Hautes-Alpes pour 1869. La dépense « moyenne serait donc de 50 fr. environ par hectare : « je fais toutefois cette réserve que la dépense est très- « variable avec les périmètres : pour quelques-uns, elle « s'élève à plus de 100 fr., et descend pour d'autres à « moins de 30 fr. par hectare; cela dépend de la nature « du sol, de l'état de dégradation, etc., etc.

« Dans les Hautes-Alpes, la surface totale à régéné- « rer est de 200,000 hectares environ (c'est, je crois, le « chiffre donné en 1840 par M. Surell) : la dépense pour « tout le département serait donc de 10 millions au plus « et de 8 millions au moins, en adoptant la moyenne « ci-dessus, et en tenant compte de ce fait certain, que « les travaux coûteront dorénavant, en raison de l'ex-

« périence acquise, moins qu'on ne le prévoyait à l'o-
« rigine.

« En 1840, M. Surell estimait la dépense totale à
« 6 millions (100,000 fr. par an pendant soixante ans).
« La différence se justifie, si on considère que, depuis
« trente ans, la main-d'œuvre est devenue plus rare et
« plus chère.

« Je dois enfin ajouter que le système appliqué par
« M. Séguinard donne, après quelques années, des pro-
« duits notables et qu'il serait juste d'en tenir compte.
« Ces bénéfices successifs seront considérables ; ils
« n'existeraient pas, si on voulait n'avoir et ne créer
« que des forêts et des futaies.

« La dépense de 8 à 10 millions peut paraître énorme,
« mais je ne la crois pas hors de proportion avec les
« résultats. M. Surell, dans son ouvrage, le démontre
« péremptoirement ; je n'ai rien à ajouter à ce qu'il dit.
« On pourrait cependant aller plus loin : je suis certain
« qu'en cinq ans, les périmètres, par leurs herbes et
« leurs bois, donneront des revenus qui, ajoutés aux
« économies et aux bénéfices résultant de la transfor-
« mation du régime des torrents et des cours d'eau, cou-
« vriront la très-majeure partie de la dépense de régé-
« nération. »

Après de pareils témoignages, il n'est plus permis de douter, l'opération est bonne, car elle satisfait tout le monde, l'administration, les hommes de l'art et les populations.

CHAPITRE VIII.

EXTINCTION ARTIFICIELLE DES TORRENTS.

Ce n'est pas seulement à des mesures administratives que sont dûs les merveilleux résultats que le chapitre précédent fait connaître; c'est par un ensemble de travaux très-ingénieux, très-variés, que l'extinction des torrents est devenue un art véritable, dont il est plus facile de présenter des exemples que de formuler les règles.

Lorsqu'on visite un de ces torrents récemment éteints de main d'homme, par exemple celui de *Saint-Pancrace*, près de Gap, ou celui de *Sainte-Marthe*, à la porte d'Embrun, on est tout d'abord frappé de l'extrême simplicité des procédés employés, de leur souplesse pour s'adapter à tous les accidents de ces surfaces déchirées et, en même temps, de leur efficacité et de la rapidité décisive du résultat.

Lorsque, ensuite, on en vient à essayer de les décrire, on s'aperçoit que, pour donner une idée de l'ensemble, ce qu'il y aurait de mieux à faire serait de recopier tels ou tels passages de l'*Étude sur les torrents des Hautes-*

Alpes (1) : c'est qu'en effet, ainsi que le Directeur général, avec l'impartialité qui convient à ses hautes fonctions, a voulu le constater lui-même, « dans l'opération « entreprise en exécution des lois des 20 juillet 1860 et « 8 juin 1864, la voie tracée avec une autorité que tous « les hommes compétents se sont plus à reconnaître a été « fidèlement suivie par l'administration des forêts, et « c'est par conséquent à l'auteur de l'*Étude sur les tor-* « *rents* que doit être attribué en grande partie le succès « dont les efforts de l'administration commencent à être « couronnés (2). » Mais la pratique est un grand maître, et ce n'est pas sans raison qu'après avoir indiqué quelques-uns des procédés connus, M. Surell recommandait d'avance « les procédés qui restent à découvrir et « qui sortiront de l'expérience (3). »

Le lecteur de ce livre se représente nettement les berges d'un torrent comme une plaie vive qui dévore la montagne. Vers le tronc principal du cours d'eau, convergent des branches ou ravins, formés eux-mêmes de ravins secondaires, de rigoles qui s'atténuent à mesure que l'on remonte et se réduisent, près des lèvres du chancre, à de simples sillons ou rides imperceptibles. La ligne très-sinueuse qui enveloppe les origines de ces

---

(1) Comparez notamment, avec ce qui va suivre, les chap. XXXIII et XXXIV de la 1re édition (1841). — Chap. XXXII et XXXIII de la 2e édition.

(2) Ce passage est extrait presque textuellement d'une lettre adressée le 8 juillet 1869 à M. *Surell* par M. *Faré*, Directeur général des forêts.

(3) *Surell*, chap. XXXIII, p. 168 (1841).

rides ou rigoles élémentaires, circonscrit le champ du ravinement; c'est, à proprement parler, la crête des *berges vives*. Entre cette crête et la ligne de faîte qui sépare les bassins de deux torrents voisins, s'étend une zone, cultivée ou non, qui fait partie du bassin de réception et verse ses eaux dans l'entonnoir ouvert entre les *berges vives*.

La *fig.* 3 ci-contre donne, sous une forme pittoresque, la vue de la montagne d'Embrun nommée le *Mont-Guillaume*. Le premier torrent, à gauche de la ville, est celui de *Sainte-Marthe*, dont le cône a enseveli de riches cultures et forme la berge droite de la Durance. Le second torrent, beaucoup moins considérable que le précédent est celui de *Rio-clar*. Après le Rio-clar, vers les limites du dessin, on aperçoit les vastes déchirements, connus sous le nom de *Combes de Puy-Sannière*, qui ont dévoré presque tout le territoire cultivable de la commune.

De quelque côté qu'on jette les yeux, dans nos montagnes, on retrouve toujours le même et lamentable tableau.

La méthode employée pour guérir ces maux est partout la même.—Conformément aux préceptes du chapitre XXXII (1er vol.), on a commencé par tracer sur les revers de la montagne une ligne qui, suivant à une distance variable la crête des berges, embrasse tout le champ des affouillements et limite le *périmètre* livré à l'administration des forêts. La vaste surface enfermée

Pages 216-217

dans ce périmètre est un véritable chantier que l'on a pris l'habitude de désigner très-simplement en disant le *périmètre de Vachères*, le *périmètre de Sainte-Marthe*.

Entre la ligne qui circonscrit et limite le périmètre et la crête des berges vives, s'étend la *zone de défense* (1er vol., p. 202) et le tracé de cette zone forme la première des quatre opérations entre lesquelles M. Surell décomposait l'œuvre de l'extinction en recommandant de procéder dans l'ordre suivant :

1° Tracé des *zones de défense ;*
2° Boisement de ces zones;
3° Plantations des *berges vives ;*
4° Construction des barrages en fascines.

En ce qui concerne la seconde de ces opérations, on a déjà vu dans le chapitre précédent que la loi de 1864, modifiant les dispositions trop absolues de la loi de 1860, a remplacé en partie le *boisement* par le *gazonnement*. On s'est donc contenté généralement, en ce qui concerne la seconde opération, et sauf quelques cas particuliers, d'interdire aux troupeaux l'accès du périmètre. La *zone de défense*, abandonnée à elle-même ou semée à la volée, se recouvre peu à peu de gazon naturel, en attendant que les populations réconciliées se montrent plus favorables au boisement complet.

Quant aux deux dernières opérations, elles n'ont pas été entreprises successivement, mais simultanément, et, lorsque l'une des deux a dû précéder l'autre, la pra-

tique a promptement fait connaître que la quatrième devait être entreprise avant la troisième.

Dans cet ensemble de ravins qui forment les combes d'un torrent, il y a toujours au pied de chaque talus un thalweg grand ou petit, et, si l'on imagine une coupe verticale à travers les berges vives, elle offrira toujours, quelle qu'en soit l'orientation, une série de V très-aigus

Fig. 4. — Coupe des berges vives.

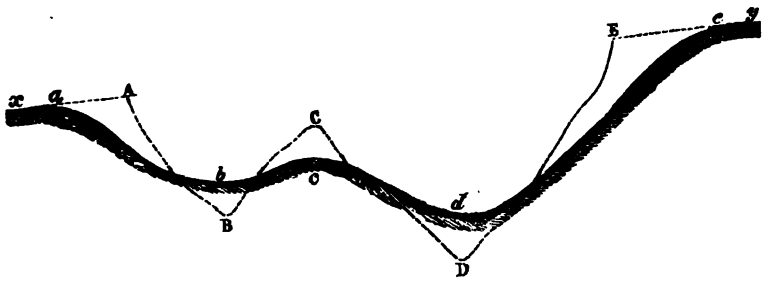
dont les branches se recoupent pour former des dos d'âne ou arêtes saillantes. (Fig. 4.) Les talus de ces ravins, constamment aiguisés et mis à nu par les orages, ont l'inclinaison maxima qui correspond à la cohésion du sol, et le moindre affouillement qui ronge le pied du talus détermine promptement, par le seul effet de la pluie, l'ablation sur la surface entière d'une couche dont l'épaisseur est déterminée par la profondeur de cet affouillement.

On comprend que, dans ces circonstances, avant de songer à planter les talus, il faut en fixer la surface. Quelle que soit la force naturelle de la végétation, il y

a des torrents de si mauvaise nature que, livrés à eux-mêmes, ils ne s'éteindraient qu'après avoir dévoré la montagne.

Pour parvenir à fixer la surface croulante des berges, on a recours à deux procédés que l'on emploie quelquefois séparément, mais qui, le plus souvent, se prêtent un mutuel appui : tantôt, on arrête le pied des talus par des barrages; tantôt, on démolit les berges et l'on remanie leur surface pour en adoucir la pente, c'est-à-dire qu'on arrondit en forme de *coupe* ou de *croupe* les angles aigus formés par les arêtes saillantes et par le fond des ravins : ainsi, la ligne brisée *x*ABCDE*y* (Fig. 5.) est remplacée

Fig. 5. — Démolition des berges.



par la ligne plus douce *xabcdey*.

Cette démolition des berges est quelquefois entreprise sur une très-grande échelle avec le secours de la mine et de la poudre mais, le plus souvent, la pioche y suffit. Les montagnards, habitués dès leur enfance à suivre leurs troupeaux dans les combes glissantes, travaillent sans embarras sur des pentes dont la vue seule donnerait le vertige à un étranger.

Mais, c'est surtout par des barrages que l'on parvient à fixer la surface croulante des berges. Ces barrages fort nombreux sont de plusieurs sortes suivant l'importance du ravin, la nature des matériaux qu'on a sous la main ou l'effet qu'on en attend.

Dans le lit principal, certains barrages sont de véritables ouvrages, puissamment fondés et enracinés, maçonnés à la chaux hydraulique et protégés par toutes les ressources de l'art : radiers de gros blocs, couronnements appareillés, tirants en fer forgé, etc... Ces barrages de premier ordre n'ont pas pour but de retenir et d'emmagasiner les graviers avant qu'ils n'arrivent sur le cône : cet avantage est considéré ici comme transitoire et tout à fait secondaire, aussi, se propose-t-on seulement de déterminer en amont du barrage un vaste atterrissement qui comblera le ravin, et, par suite, épaulera les berges en noyant leur pied. — Une seule crue suffit souvent pour remplir le réservoir ainsi préparé derrière le barrage.

De moindres barrages sont construits en pierre sèche, dans les endroits favorables. Si la pierre manque, ce qui n'arrive jamais dans le lit principal, mais seulement dans les ravins secondaires, le barrage est formé de piquets réunis par des clayonnages : ces barrages clayonnés sont bordés, autant que possible, d'une ligne de petits arbres qui vivront lorsque les piquets seront pourris et qui tiendront leur place.

Dans les rigoles formant un V très-aigu, le fond est

barré par un lit de fagots et de pierraille sur lequel on étend les débris terreux résultant de la démolition des berges.

Quelquefois le barrage se réduit à un simple gabion que l'on pose vide dans le thalweg d'un sillon; l'ouverture est tournée vers l'amont et l'on abandonne au premier orage le soin de remplir de terre ce gabion en forme de nasse. Le gabion lui-même est quelquefois remplacé par un arbre ou un buisson à moitié enfoui avec ses branches et ses racines dans le fond d'une rigole.

On comprend qu'il n'y a rien d'absolu dans le choix de tel ou tel système. Une maxime fréquemment répétée aux ouvriers des périmètres, c'est qu'il faut en chaque point proportionner la résistance à l'attaque: contre le torrent, on élève de véritables fortifications dont la portée lointaine se fait sentir, en amont, dans le chenal et jusqu'au sommet des hautes berges; au contraire, dans les sillons et les rides, vers les lèvres de la plaie, une touffe d'herbe bien placée suffit pour barrer et éteindre une rigole que le temps aurait rendue dangereuse.

C'est ainsi que dans le seul torrent de Sainte-Marthe, dont le périmètre embrasse 530 hectares, on a construit plus de *huit cents* barrages qui diffèrent considérablement entre eux par les dimensions et le système de construction.

Dans ce qui précède, nous avons considéré le système

des barrages comme un artifice préparatoire, ayant pour but de soutenir les berges jusqu'au moment où la végétation les aurait revêtues. C'est le cas le plus général; cependant, il est des circonstances exceptionnelles où les barrages ont le rôle principal et sont par eux-mêmes la cause de l'extinction. Cette action spéciale des barrages est très-importante et mérite qu'on s'y arrête.

On remarque quelquefois, à certaine distance des berges d'un torrent, un système de fissures parallèles entre lesquelles le terrain paraît disloqué par des glissements inégaux. Il n'est pas rare que ces glissements s'étendent sur une vaste surface, en sorte que des cultures et même des habitations détachées d'un plateau supérieur sont visiblement descendues à un niveau plus bas (1).

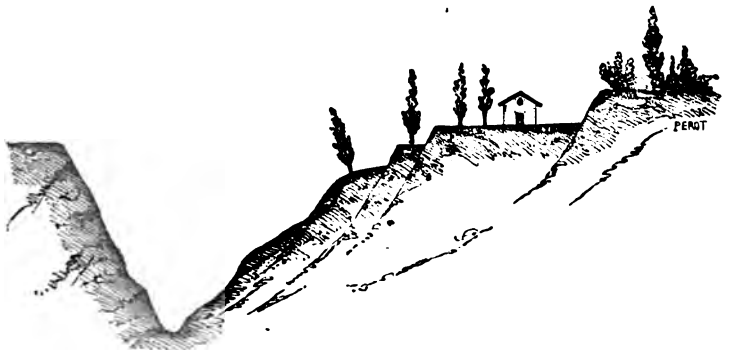
Lorsque, par ces fissures, la montagne est ainsi découpée en prismes mal équilibrés, il suffit qu'un jour

---

(1) *Surell*, chap. IX, (1841), (2e édit., 1er vol., page 33). — M. *Ladoucette*, ancien préfet des Hautes-Alpes, rapporte le fait suivant dans son *Histoire* de ce département (1848, 3e édition, p. 450) : « *Saint-Eusèbe* (603 âmes), bâti sur une couche argileuse « de plus de 200 mètres d'élévation au-dessus du *Drac* et à la « distance d'un kilomètre de cette rivière, présente le phéno- « mène curieux et alarmant à la fois de l'affaissement de cette « couche : on le voit distinctement de la route royale qui longe « le Drac, tandis qu'il y a quelques années, il était encore caché « entièrement par l'exhaussement des terres qui le précèdent. Les « crevasses qui existent sur toute cette ligne donnent la malheu- « reuse certitude que les affouillements successifs de son terrible « voisin finiront par lui enlever sa base et amener sa ruine to- « tale : cette perspective est affreuse ! »

d'orage les eaux ruisselantes s'insinuent dans une fente pour lubrifier les surfaces et déterminer le glisse-

Fig. 6. — Glissement des berges.



ment. Si la masse qui s'écroule est considérable, elle barre momentanément le ravin, et, s'imprégnant d'eau peu à peu, se ramollit, puis se rompt tout à coup et se précipite en une coulée de lave visqueuse dont la force impulsive est plus redoutable que celle de l'eau pure, car la lave, n'ayant pas la fluidité de l'eau, ne peut comme elle contourner un obstacle résistant sans l'entraîner. Telle paraît être l'origine de ces débâcles de boue que de Saussure avait déjà remarquées et qu'il attribuait aussi à la rupture d'un barrage (1). Ce n'est que par ces barrages momentanés, bientôt suivis d'une débâcle, que l'on peut s'expliquer certains phénomènes qui accompagnent les crues des torrents.

Un riverain du torrent de Sainte-Marthe raconte que, maintes fois, tandis qu'il écoutait avec anxiété, dans le

(1) *De Saussure : Voyage dans les Alpes*, § 485.

silence de la nuit, la grande voix du torrent qui ronge son domaine, il a constaté un temps d'arrêt, un apaisement subit qu'il attribuait d'abord à la cessation brusque de la crue; mais, au bout de quelques minutes, le vacarme recommençait avec plus de force et, de nouveau, le tumulte des blocs entre-choqués répondait aux mugissements des eaux.

M. Scipion Gras rapporte un exemple bien caractéristique : le 14 juin 1827, le village de Goncelin, non loin de Grenoble, est subitement menacé par une crue de torrent: les habitants alarmés courent sur les digues; mais les eaux s'abaissent, la crue semble calmée: les habitants rassurés se retirent, lorsque, tout à coup, ils voient sortir de la gorge une montagne d'eau qui se précipite sur eux avec fureur. Quarante-deux maisons sont englouties ou renversées, vingt-huit personnes surprises et tuées, et la moitié du village ensevelie sous une couche de boue, de cailloux et de blocs, dut être reconstruite sur cet amas de ruines. — Comment expliquer ces phénomènes, sinon par un barrage momentané?

Le *Sècheron*, torrent de la Tarentaise, coule entre des berges schisteuses, autrefois solides, mais qui, depuis 1853, époques où elles ont été déboisées, sont sujettes à des mouvements inquiétants. En avril 1869, le Sècheron, partiellement barré par des éboulements, menaçait deux villages; le tocsin retentit dans la vallée; des secours sont organisés, les ingénieurs accourent avec des soldats, et ce n'est pas trop de tous ces efforts pour

entretenir l'issue des eaux et empêcher que l'Isère elle-même ne soit arrêtée dans son cours.

En 1151, par suite d'un orage, deux torrents de l'*Oisans* qui se font face d'une rive à l'autre de la Romanche, le *Vaudaine* et l'*Infernay*, élevèrent un barrage en travers de la vallée principale : un lac se forma aussitôt derrière ce barrage, connu sous le nom de *lac Saint-Laurent*, parce que l'orage avait éclaté le jour de la Saint-Laurent. Ce lac s'est maintenu pendant soixante-huit années, mais, dans la nuit du 14 au 15 septembre 1219, le barrage qui le retenait s'étant rompu, les eaux ravagèrent les parties inférieures de la vallée, et deux villes, Vizille et Grenoble, furent presque entièrement détruites. Depuis le XIIIe siècle, le barrage a menacé plusieurs fois de se reformer, et cependant aujourd'hui, sur le fond mis à sec du lac Saint-Laurent s'élève le *Bourg d'Oisans*.

Ces exemples ne sont pas ici un hors-d'œuvre : ils montrent combien il importe de fixer les berges croulantes d'un torrent, et font comprendre comment, dans certains cas particuliers et par la suppression du phénomène des débâcles, l'extinction d'un torrent, dont le temps paraissait un élément nécessaire, peut être en réalité le résultat immédiat et décisif de quelques travaux d'art (1).

Les berges étant ainsi consolidées, soit parce qu'on

(1) C'est le cas du torrent de *Vachères* rapporté ci-après dans le présent chapitre.

en a remanié la surface et adouci les pentes, soit parce qu'on a empêché l'érosion des talus en retenant leurs pieds par de nombreux barrages, on pourrait abandonner le surplus de l'œuvre d'extinction à la nature qui ne tarderait guère à opposer à la force vivante des eaux la force supérieure et vivante aussi de la végétation.

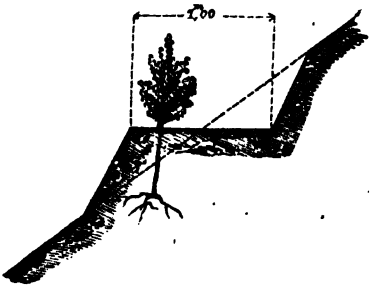
Il suffirait sans doute de peu d'années pour voir la surface consolidée des berges se recouvrir d'un manteau de verdure ; mais ces résultats à longue échéance ne sont pas de notre siècle ; il nous faut des succès prompts, décisifs, qui frappent tous les yeux, désarment les oppositions et donnent à l'administration elle-même la confiance qu'elle poursuit un grand but et qu'elle a les moyens de l'atteindre.

Ainsi l'ont parfaitement compris les hommes éclairés qui luttent corps à corps avec les plus redoutables torrents des Alpes ; ils ne se sont pas contentés de la consolidation des berges ; ils ont donné à la surface lisse et aride des combes, une préparation dont l'efficacité frappe tout d'abord le visiteur.

Sur la surface entière des *berges vives*, on a tracé des banquettes horizontales, tout à fait comparables à celles que l'on ménage dans les talus élevés des chemins de fer, pour augmenter leur assiette et pour limiter le rigolage en arrêtant le ruissellement des eaux. Ces banquettes présentent un léger devers du côté de la montagne, en sorte que les eaux tendent à y séjourner (*fig.* 7). Vers le bord de la banquette, que l'on a eu le soin de pio-

cher profondément, on a planté, l'un touchant l'autre, des arbres feuillus, âgés de trois ou quatre ans et qui pro-

Fig. 7. — Profil d'une banquette.



viennent de semis cultivés en pépinière dans quelque endroit favorable des périmètres. Ces jeunes arbres sont plantés de telle sorte que le col de la racine soit enterré de 20 centimètres, pour le mettre à l'abri de la sécheresse ; la tige est recépée au ras du sol, afin que la végétation trop rapide n'épuise pas les sujets. On recèpe ainsi plusieurs fois jusqu'à ce que l'apparence vigoureuse des jeunes arbres témoigne que leurs racines sont enfin parvenues dans un sous-sol humide et capable de les nourrir.

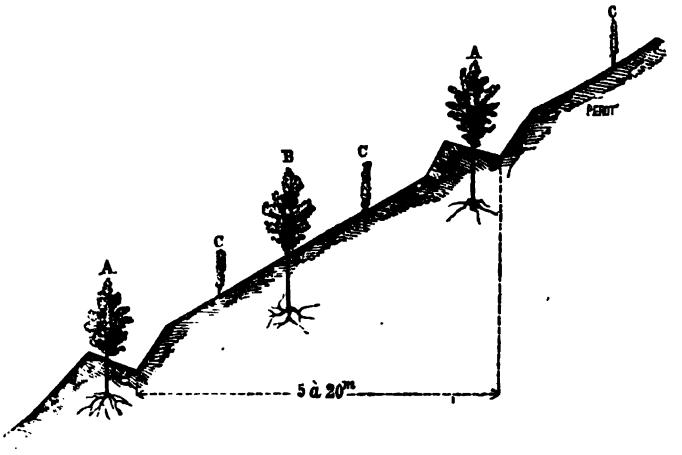
Les banquettes sont à des distances variables, suivant l'inclinaison des berges. La bande du talus qui s'étend entre deux banquettes est semée à la volée de plantes fourragères ou d'herbages choisis parmi ceux qui poussent spontanément dans les combes.

Entre ces banquettes, on remarque quelquefois une haie de jeunes arbres qui, moins soignés que ceux des banquettes, prospèrent cependant dans les endroits fa-

vorables. Ailleurs ce sont des cordons de luzerne, de sainfoin ou de toute autre plante.

La *fig.* 8 donne une idée de l'ensemble : AA sont des banquettes avec leurs bordures de jeunes arbres;

Fig. 8. — Profil général d'un talus.



B est une haie des mêmes essences; CC sont des cordons de luzerne, et, sur la surface entière, verdoient des herbes diverses.

Dans les talus rapides, les banquettes sont soutenues par des murettes ou des clayonnages; il en est de même à la traversée des ravins dans lesquels chaque banquette forme un barrage. Lorsque, sur une pente excessive, le terrain déjà désagrégé ne peut résister aux chocs très-violents en temps d'orage, des gouttes de pluie, les semis sont protégés par des couvertures de paille ou de brindilles que la croissance des herbes rend bientôt inutiles.

C'est un des étonnements du visiteur de voir pointer, dans ces schistes arides, les tiges verdoyantes de ces essences variées : l'*orme*, l'*érable*, l'*acacia*, le *noisetier* sont préférés pour les terrains mobiles à cause de leur croissance rapide et de leurs racines drageonnantes; le *chêne* et le *noyer* sont réservés pour les contre-forts secs et solides ; tandis que, dans les fonds humides des ravins, se pressent l'*aune*, le *peuplier*, le *frêne*, l'*osier*, le *saule blanc* des Alpes, etc.... On a sagement subordonné l'intérêt forestier à la consolidation du terrain : les conifères sont exclus de ces pépinières, où de nombreuses essences sont mises à l'essai.

Parmi les broussailles cultivées, il faut citer le *prunellier*, l'*épine noire*, la *ronce*, le *myrtile*, le *genévrier*, l'*hippophaè* et surtout l'*épine-vinette*. Ce dernier buisson, très-puissant par sa racine, était autrefois répandu dans le pays depuis la vallée jusqu'au sommet des montagnes; mais cette racine, recherchée pour la teinture, est précisément cause que la plante, inconsidérément arrachée, a presque partout disparu. Les herbes sont représentées, entre autres, par la *fenasse*, le *sainfoin*, le *trèfle*, la *luzerne*, enfin la *bugranne*, plante indigène des combes, et que l'on peut voir suspendue au bord des éboulements dont elle retient la crête croulante comme par une étreinte désespérée.

Ces ouvrages, si ingénieux par leur simplicité même, forment un réseau de lignes horizontales semblables à des allées de jardin. Leurs vertes bordures se développent parmi les sinuosités sans nombre des combes em-

brassant, depuis le lit rocailleux du torrent jusqu'aux sommets des crêtes, ces ravins qui jadis étaient inaccessibles et d'un horrible aspect. On comprend aussitôt qu'un pareil ensemble doit être très-efficace; chaque molécule liquide est, pour ainsi dire, saisie isolément. La nappe ruisselante est retardée dans sa course par mille brins d'herbe altérés, par les cordons et par les haies; il lui faut séjourner sur chaque banquette pour en abreuver la surface; lorsqu'elle arrive au fond d'une rigole, elle s'étale sur le lit aplati qu'on lui a préparé, s'arrête à chaque barrage, brise sa force vive sur chaque radier et finalement, de repos en repos et de chute en chute, elle arrive, après mille délais et claire encore, dans le canal d'écoulement qui la conduit promptement à la rivière.

La violence des torrents est une intégrale formée d'une infinité d'éléments imperceptibles. Le système d'extinction consiste à éteindre isolément chacun de ces éléments sans en négliger aucun : c'est une accumulation d'infiniment petits. « On barre les ravins secondaires, « on intercepte les petites ramifications, on comble les « petites flaches; enfin l'on répand sur la surface du sol, « pour les effacer complétement, ces filets innombra- « bles divisés comme les fibres chevelues d'une racine, « et qui sont visiblement la racine du mal (1). »

Il est cependant un des préceptes du maître qui n'a pas été suivi, et le visiteur qui remarque tant de pré-

(1) Comparez avec *Surell* : p. 170 de la 1re édition — p. 206, 1er vol. de la présente édition.

cautions accumulées contre la sécheresse; qui entend les ouvriers, les contre-maîtres réclamer la pluie comme leur plus puissant auxiliaire, s'étonne de voir dans le lit du torrent un cours d'eau qui va se perdre à la rivière sans qu'on ait cherché à l'utiliser pour l'irrigation (1). Cependant, parmi ces banquettes, quelques-unes, tracées avec une faible pente, auraient pu se transformer à peu de frais en rigoles d'arrosage. Il semble que les difficultés que l'on a rencontrées pour fixer les parties humides des berges ont inspiré une crainte exagérée des accidents que l'eau peut produire et que ces inconvénients locaux ont fait oublier des avantages plus généraux et plus importants. Il faut toutefois se garder de préjuger une question si délicate : la pratique seule peut décider si l'irrigation des berges est avantageuse ou nuisible, et c'est pourquoi l'on regrette que, sur ce point capital, l'expérience n'ait été interrogée dans aucun des périmètres.

Les longues explications qui précèdent ne peuvent donner qu'une idée incomplète du traitement appliqué aux torrents; au contraire, il suffit de visiter l'un quelconque des périmètres, il suffit d'un coup d'œil, pour recevoir une démonstration saisissante et emporter une confiance absolue dans l'efficacité de la cure. Si donc l'administration des forêts voulait former un personnel spécial pour l'extinction artificielle des torrents, la meilleure mesure à prendre serait d'envoyer ses agents en

(1) *Surell*, p. 170, 173, 174 de la 1re édition; p. 164, 232, 233, 238, de la présente édition, 1er volume.

mission dans les Hautes-Alpes, comme l'École des ponts et chaussées envoie ses élèves visiter les chantiers en activité (1). Une pareille visite aux travaux de reboisement est surtout profitable si l'on a la bonne chance d'être guidé par l'homme qui les a organisés au milieu de difficultés que le chapitre précédent ne fait qu'imparfaitement connaître.

M. *Costa de Bastelica*, inspecteur des forêts, offrait précisément les conditions nécessaires à une telle œuvre qui est toute de dévouement. Tandis que les fonctionnaires envoyés dans les Hautes-Alpes soupirent dès leur arrivée en pensant au jour où ils pourront quitter ce triste pays, M. Costa s'est attaché à ces montagnes par une longue résidence. Témoin journalier des ravages des torrents, imbu des idées de M. Surell, il a eu foi dans le succès, et, lorsque la loi de 1860 et la confiance bien justifiée de son administration lui ont donné les moyens d'agir, il s'est mis à l'œuvre avec une passion à laquelle le pays, témoin de ses efforts, rend un hommage unanime.

Le temps n'est plus où les montagnards égarés menaçaient sa demeure et sa personne; il voit enfin le succès couronner ses efforts; chaque printemps égaye d'une pousse nouvelle ces combes jadis nues et désolées, tandis que le torrent dompté s'encaisse peu à peu dans

(1) Déjà M. *Vicaire* avait organisé des conférences forestières qui réunissaient les agents de divers départements, tantôt dans l'un, tantôt dans l'autre.

les déjections anciennes. Pour bien constater sa victoire, M. Costa a jeté çà et là, comme un défi à son ennemi, de légères passerelles, élevées d'un mètre à peine au-dessus des eaux, et il se plaît à montrer que le torrent de Sainte-Marthe, par exemple, qui jadis surmontait ses digues et emportait des ponts élevés, respecte depuis plusieurs années cette faible barrière (1).

Dans un département voisin, celui des Basses-Alpes, des travaux analogues ont amené les mêmes résultats.— Antérieurement à la loi du 28 juillet 1860, de légers barrages clayonnés, combinés avec la mise en défends, avaient fixé, près de Sistéron, les terrains du *Mollard*, dont les détritus couvraient les aires publiques. Le torrent a été si complétement éteint, les eaux si parfaitement absorbées, qu'un petit aqueduc construit pour conduire les eaux à la Durance est devenu inutile (2). Mais dans ce département, les résultats les plus remarquables ont été obtenus par un simple garde communal.

« M. *Jourdan* a commencé ses travaux dans la forêt « de *Salignac;* et en les commençant il a eu à vaincre, « cela était presque inévitable, de la part des habitants, « une opposition assez vive... Jusqu'en 1860, la plus « grande partie des barrages établis dans la forêt de « Salignac ont été faits par le garde seul, et celui-ci

---

(1) M. *Costa* a succédé récemment à M. *Séguinard*; il est aujourd'hui conservateur pour les départements des Hautes-Alpes et de la Drôme, avec résidence à Gap.

(2) *Annales forestières*, 1861, p. 240.

« était obligé d'en réparer beaucoup que les orages ou « la malveillance détruisaient... De 1855 à 1861, le « garde Jourdan a construit et réparé à lui seul trois « cents barrages, et on lui doit d'autant plus d'éloges « que les deux tiers sont, en moyenne, éloignés de huit « à dix kilomètres du lieu de sa résidence.

M. *Labussière*, conservateur à Aix, dont les beaux travaux de reboisement dans le Puy-de-Dôme ont été honorés par une médaille d'or, décernée par la Société centrale d'agriculture de ce département, signale en ces termes aux fonctionnaires placés sous ses ordres les résultats obtenus par le garde Jourdan :

« Un garde communal des Basses-Alpes a eu l'heu- « reuse idée de faire établir des barrages en fascines « sur les ravins qui se trouvaient dans les coupes, au « fur et à mesure de leur exploitation. Quelques-uns « devenaient promptement de vrais torrents, souvent « dangereux, et tous causaient un dommage plus ou « moins considérable aux propriétés inférieures. Ce tra- « vail simple, qui n'exige que quelques heures de peine « et l'emploi de fascines d'une valeur presque nulle, « sur les lieux, a donné d'excellents résultats dans les « bois communaux de *Sistéron*, *Salignac*, *Entrepierre* « et *Vilhose*..... Je n'ai pas besoin d'ajouter que les « barrages doivent commencer à l'origine des ravins, « qu'ils doivent être d'autant plus rapprochés que la « pente est plus rapide et le sol plus friable. L'expé- « rience a prouvé que le meilleur résultat s'obtenait en « procédant de la manière suivante : — Un premier lit

« de fascines est disposé sur le sol en travers du ravin. « Il est recouvert par d'autres fascines placées perpen- « diculairement, la pointe regardant le sommet de la « montagne. On continue de la même manière jusqu'à « une hauteur indiquée par l'état des lieux. Les pre- « mières fascines posées dans le sens du ravin peuvent « être consolidées par de grosses pierres ou du gazon, « s'il est possible d'en trouver sur place.

« Si ce travail, d'une exécution facile, pouvait être « fait de proche en proche, il donnerait d'excellents ré- « sultats avant peu d'années, si l'on en juge par ceux « qu'a déjà obtenus le garde Jourdan, qui n'avait pour « l'entreprendre que son désir de bien faire, et pour le « mener à bien que son esprit d'observation (1). » La Société impériale et centrale d'agriculture de France a décerné au garde Jourdan une médaille d'or à l'effigie d'Olivier de Serres. « N'est-il pas touchant, » — dit le rapport, — « de voir une cité entière protégée contre le « plus terrible des fléaux par la main intelligente d'un « garde forestier, l'un des plus modestes fonctionnaires « de l'État?

« Pendant que les savants dissertaient, un simple « garde résolvait le problème. Pour en perpétuer le « souvenir, on a donné dans le pays aux barrages dont « nous venons de parler le nom de *Barrages Jour-* « *dan* (2). »

---

(1) *Annales forestières*, 1861, p. 241.
(2) *Annales forestières*, 1863, p, 69.

On voit, par les extraits qui précèdent, que ces travaux des Basses-Alpes sont presque identiques à ceux exécutés dans le département voisin ; cependant, ici même, il faut se garder de croire que deux périmètres se ressemblent complètement et qu'un seul système varié seulement dans les détails est applicable à tous. L'extinction d'un torrent est une lutte contre un ennemi redoutable dans laquelle il faut déployer les qualités qui réussissent à la guerre, l'audace, la persévérance énergique et cette tactique savante qui discerne le point faible de l'adversaire et porte l'attaque au cœur de ses défenses... « Lorsqu'on examine avec attention un tor-
« rent, on remarque que toutes ses parties ne sont pas
« également nuisibles. Le mal réside souvent dans une
« seule branche, et les autres n'y contribuent que pour
« une petite part. Il serait inutile alors de leur appli-
« quer à toutes indistinctement le même traitement;
« on se bornerait à attaquer la branche dévastatrice,
« et celle-ci une fois éteinte, les ravages auraient
« cessé (1). »

Ce n'est donc pas au hasard, mais suivant un plan stratégique, que les ouvrages décrits ci-dessus sont distribués dans le bassin d'un torrent. Voici à ce sujet un exemple caractéristique :

Le torrent de *Vachères*, un des plus mauvais des Alpes, tombe sur la rive gauche de la Durance, en face d'Embrun, et, dans la plaine, son vaste cône de graviers

(1) *Surell*, chap. XXXVI, p. 179. (1841).

stériles fait un triste contraste avec les riches cultures qui le bordent et qu'il menace. Ce torrent est en réalité une petite rivière de montagnes; son bassin de réception, qui embrasse 7.000 hectares, se développe sur trois montagnes; la longueur de certaines branches affluentes se mesure par vingt et trente kilomètres. Dans toute la partie supérieure de ses ramifications, le torrent prend naissance et grandit dans des terrains relativement solides, il ne roule que des eaux claires; mais, au moment où il approche du goulet par lequel il va déboucher dans la plaine, il rencontre une puissante formation détritique qu'il faut évidemment rattacher à la période glaciaire : c'est une antique moraine caractérisée par un mélange confus de boue, de sable et de blocs erratiques arrachés aux sommets lointains des Hautes-Alpes. En cet endroit, le torrent s'est encaissé de cent mètres environ, et ces hautes berges, incessamment rongées par le pied, sont dans un état d'instabilité complet.

Le torrent change aussitôt de nature; ses eaux, claires jusque-là, se chargent de déjections boueuses; les divagations commencent et le moindre orage qui fait écrouler les berges donne lieu aux plus violents effets de débâcle. Vers ce même point, le torrent principal reçoit deux affluents considérables : à droite, le torrent de la *Grande-Combe* descend de la montagne de Saint-Sauveur, tandis que, sur la rive gauche, le torrent de *l'Homme* déchire et ronge, en un large éventail, la montagne de *Baratier*. Ces deux torrents affouillent un terrain de schiste noir de la plus mauvaise qualité, et la crue d'un seul d'entre eux suffit à barrer partiellement le torrent

principal, qui est alors rejeté contre l'une ou l'autre de ses berges.

Toutes les causes de désordre sont ainsi réunies sur un espace d'un kilomètre carré environ; c'est pourquoi ces lieux désolés, encombrés de ruines par les glaciers et les torrents, ont été choisis pour champ de bataille par M. Costa, qui, dans la partie supérieure du bassin, s'est contenté d'interdire l'accès des troupeaux.

Le plan vraiment audacieux qui est en cours d'exécution, consiste à barrer de vive force le torrent principal par une muraille massive, derrière laquelle le cours d'eau accumulera ses déjections, en sorte que le pied des berges actuelles sera profondément enterré; on démolira alors la crête des berges, puis un talus doux et régulier remplacera ces surfaces déchirées et ruineuses. Pendant que ces travaux s'exécutent, une digue longitudinale, élevée en amont du barrage, dans une situation heureusement choisie, prépare au torrent un lit artificiel dans lequel il sera rejeté lorsqu'il aura remblayé l'ancien lit.

L'un des deux affluents mentionnés ci-dessus, le torrent de l'*Homme*, déjà éteint par des banquettes plantées et de menus barrages, est devenu inoffensif; quant à son rival de la *Grand'Combe*, qui, après avoir coulé quelque temps parallèlement au torrent principal, tombe actuellement en aval du grand barrage, il sera rejeté en amont de ce barrage au moyen d'une coupure dont l'emplacement est indiqué sur le terrain par une dépression naturelle. Par ce détour, le torrent de la Grand'Combe, éloigné des schistes noirs dont il se gorge, sera obligé de rem-

blayer son lit qu'il creuse aujourd'hui; ses berges, alors, seront découpées de banquettes et soumises au traitement habituel.

M. Costa espère que, par le nouveau chenal qu'il réserve au torrent de la Grand'Combe, l'extinction se produira comme par un coup de théâtre, car du jour au lendemain les eaux aujourd'hui bourbeuses du torrent bondiront en nappe claire par-dessus le barrage.

L'ensemble de ces travaux coûtera 200.000 francs, et cinq campagnes auront suffi à dompter ce torrent dont l'écho de la vallée répète depuis tant de siècles les grondements furieux (1).

Si l'on n'avait en vue que le succès des travaux, on aurait peut-être placé le barrage principal un peu plus loin vers l'amont ou vers l'aval; mais l'emplacement choisi, très-convenable encore pour le but principal, a

---

(1) Le barrage construit par M. *Costa* présente une particularité intéressante : il est traversé à sa base, par un canal voûté qui débouche au niveau du radier, et livre aux crues ordinaires un passage restreint mais suffisant. Le barrage prend ainsi l'apparence d'un pont très-massif. — Par suite de cette disposition, les eaux entraînant la terre et la boue, n'ont déposé d'abord derrière le barrage que les graviers et les blocs; l'attérissement se fait plus lentement et se compose, — au lieu d'une boue visqueuse qui pouvait donner lieu à de redoutables accidents de débâcle, en cas de rupture du barrage—d'un poudingue ou béton de cailloux qui s'empâtant à la longue, formera un véritable rocher.—Cette disposition est dictée par la même préoccupation qui porte certains constructeurs de barrages à préférer les massifs en pierres sèches, aux murailles maçonnées.

permis de consolider la prise d'eau d'un canal d'irrigation que chaque crue du torrent emportait autrefois et qui fertilise toute la commune de Baratier. C'est par cette libérale association de l'intêrêt local à l'intérêt général que l'administration des forêts a su reconquérir la bienveillance des populations riveraines.

On voit qu'en résumé l'extinction artificielle des torrents se compose des opérations suivantes qui sont à peu près celles recommandées par M. Surell, mais dans un ordre différent :

1° Tracé et mise en défends de la *zone de défense;*
2° Gazonnement spontané de cette zone;
3° Consolidation des berges vives soit par barrages, clayonnages, etc., soit par l'adoucissement des pentes.
4° Plantation de ces berges par banquettes *boisées* alternant avec des bandes *gazonnées*.

Ces quelques exemples et les chiffres donnés au chapitre précédent font comprendre la grandeur de la tâche entreprise : l'extinction des torrents, c'est réellement la régénération des montagnes, et les hommes éclairés qui dirigent l'administration des forêts ne peuvent douter que, chargés aujourd'hui d'un grand service de travaux publics, il ne dépende d'eux de transformer en réalité prochaine le riant tableau que le dernier chapitre de l'*Etude sur les torrents* reportait dans les perspectives lointaines de l'avenir (1). Les premiers succès obtenus ne permet-

(1) 1re édition, chap. XLII. — Voyez 2e édition 1er vol., p. 264.

tent plus de douter de la réussite complète ; il suffit maintenant de persévérer, et, se gardant d'éparpiller les ressources, il faut, pendant quelques années encore, en concentrer la plus forte part dans ce bassin de la Durance, le plus pauvre, le plus menacé, et celui où le mal étant le plus invétéré, témoignera par un éclat plus vif de l'efficacité du remède.

Il est impossible de douter que l'extinction des torrents qui se dégorgent dans la Durance n'ait la plus heureuse influence sur la partie inférieure de son cours ; c'est alors seulement que les vastes graviers où elle divague en Provence pourront être reconquis et cultivés avec sécurité ; c'est alors que la Crau et l'opulente Marseille recevront des eaux pures et qui n'exigeront pas de filtrations préalables ; et, si l'on parvient à régulariser la Durance, dont le tempérament torrentiel n'est que trop connu, qui voudrait soutenir que l'homme restera sans action sur des fleuves tels que le Rhône ou la Loire ?

Si l'on divise les efforts entre plusieurs bassins, on obtiendra tout autant de résultats partiels, mais on n'aura pas acquis ce grand exemple de la régularisation d'un puissant cours d'eau obtenue par une intégrale immense d'infiniment petits. Il appartient à l'administration des forêts de résoudre ce problème, qui intéresse au plus haut degré l'hydrologie et l'agriculture.

Le branle est donné, et, dans notre siècle, si porté aux entreprises d'utilité publique, il n'est pas à craindre que

ces travaux féconds soient abandonnés. Quelques ingénieurs peuvent regretter que le corps des Ponts et Chaussées reste étranger à ces résultats dont la conquête prochaine est due, en grande partie, à l'initiative de l'un de ses membres; mais, il suffit de visiter les lieux et de réfléchir aux données complexes du problème, pour reconnaître qu'un torrent, être vivant et personnel, ne peut être traité par deux administrations.

Or, si des deux administrations, une seule doit être exclusivement chargée de l'œuvre, il est incontestable que cette tâche revient à l'administration des forêts. Il y a sur la planète du travail pour tous, et, applaudissant sans arrière-pensée aux heureux efforts des forestiers qui sont désormais leurs émules dans l'art des travaux hydrauliques, les ingénieurs peuvent se réjouir que deux d'entre eux aient, par leurs études forestières, attaché leur nom, l'un à la fixation des dunes, l'autre à la régénération des Alpes.

CHAPITRE IX.

EXPLOITATION DES MONTAGNES.

Il ne suffit pas de créer des ouvrages, il faut les entretenir et s'en servir : après avoir régénéré la montagne, il reste à tirer d'elle le meilleur produit possible, il reste à l'exploiter méthodiquement. L'État est grandement intéressé à la bonne exploitation des montagnes, car ce n'est qu'en participant, par l'impôt ou autrement, à la richesse qui en résultera qu'il peut rentrer dans ses avances.

C'est d'ailleurs un droit pour l'État de contrôler l'usage qui sera fait de cette richesse créée par lui. Serait-il admissible, par exemple, que la montagne régénérée fût de nouveau livrée aux abus qui ont amené sa ruine? D'autre part, la montagne est essentiellement pastorale : les premières résistances opposées à la loi de 1860 l'ont bien démontré ; il ne peut donc être question d'interdire le pâturage : c'est une question de vie ou de mort pour nos communes dont les troupeaux sont l'unique ressource. Il faut au contraire développer les pâturages, et pour y parvenir il faut en contrôler l'usage.

Les différentes questions qui se rattachent à l'exploitation des pâturages dans les Alpes ont été étudiées dans la *Revue des eaux et forêts*, par M. le sous-inspecteur de Guiny (1). Voici l'analyse de ce mémoire très-intéressant pour notre objet (2).

La montagne proprement dite ne comporte que deux cultures, les bois et les pâturages. Ces deux cultures s'entremêlent, se suppléent; leur rôle hydrologique est le même. Les bois sont déjà réglementés et soumis à l'administration; les pâturages doivent l'être aussi. Il y a, dans les Alpes françaises seulement, un million d'hectares de pâturages; ce chiffre montre l'importance de la question. En Suisse, les pâturages sont ménagés avec un soin extrême, la montagne est verte et productive; en Italie, en France, elle est décharnée et stérile.

Une des causes principales de cette différence, c'est que, dans ces pays voisins, le bétail n'est pas le même : en Suisse domine la race bovine, en France la race ovine. La vache tond l'herbe sans l'arracher; avec ses larges pieds elle tasse le sol sans le couper. Le mouton a les pieds coupants, la dent meurtrière : il ne broute pas, il arrache. Il y a même à distinguer différentes sortes de moutons : les troupeaux indigènes sont moins funestes que les troupeaux *transhumants*.

« Dans leurs longues migrations, ces bandes, connues

(1) 1865, p. 425.
(2) Comparez *Surell*, p. 215 et suivantes (édition de 1841).

« sous les noms de moutons de Provence, moutons du « midi, troupeaux d'Arles et troupeaux transhumants, « obstruent les routes, pillent les propriétés riveraines « et sont partout l'occasion de désordres. Elles arrivent « affamées sur les pâturages et détruisent, en quelques « jours, l'herbe naissante, espoir de toute la saison.

« On peut suivre à la trace, par la disparition de toute « végétation, un troupeau de moutons de Provence qui « vient de traverser une pelouse. Le nombre et les « mœurs de ces animaux expliquent parfaitement ce « fait.

« Les moutons du midi, appartenant à de grands éle- « veurs, forment nécessairement des troupeaux très « nombreux de 1.000 à 1.200 bêtes au moins. Ils « marchent toujours en masse. Là où un mouton passe, «. cent moutons passent.

« Cette disposition tient à la race, mais elle est ici « singulièrement développée par les longs chemine- « ments sur les routes pendant la transhumance.

« Dans les plaines caillouteuses du midi, les moutons « ne trouvent qu'une maigre et rare nourriture; aussi « sont-ils obligés, pour assouvir leur faim, de remuer « les pierres du museau et des pattes, de fouiller le sol « jusqu'aux racines des plantes qu'ils dévorent. Sur la « montagne, ils continuent ce mode désastreux de con- « quérir leur subsistance : on comprend ce qu'il doit « advenir pour un sol léger, à peine fixé sur des pentes

« rapides, de ces fouillis et de ces arrachis opérés par « des millions d'animaux (1). »

Les vaches sont délicates dans le choix de leurs herbages; elles manifestent notamment une grande répugnance pour les pâturages imprégnés de l'odeur des moutons; ainsi ces deux natures de bétail s'excluent mutuellement; mais la vache exige des soins, elle porte au progrès, à l'amélioration des prairies; elle ne détruit pas; le mouton dévaste et traîne après lui le désordre et la ruine.

« Il n'est pas rare d'entendre les montagnards s'ex- « clamer douloureusement, en considérant un pâturage « ruiné par les moutons : « C'était pourtant, il y a cinq « ans, dix ans, un pâturage de vaches! »

Comme rendement, les vaches sont supérieures aux moutons; elles donnent plus d'engrais, leur viande est plus nourrissante, leur laitage plus recherché. Elles fournissent des attelages pour la charrue et les transports. Un troupeau de vaches d'une valeur de 10.000 francs donne 8.800 francs de produits, tandis qu'un troupeau de moutons de même valeur n'en donne que pour 4.600 francs.

L'industrie des fromages a pour conséquence immédiate la formation d'associations fruitières qui réduisent les frais de fabrication à un minimum : le bétail est

(1) Comparez *Surell*, (1841) p. 148. — 2e édit., 1er vol. p. 176.

mieux soigné et l'administration des pâturages plus simple et plus équitable. Pour les habitants des Alpes,

Le produit net d'un troupeau de 1,000 moutons de Provence est de.	1,250 fr.
Le produit net de 1,000 moutons indigènes est de.	4,000
Le produit net de 145 vaches équivalent à 1,000 moutons est de.	5,800
S'il existe des associations fruitières, ce produit s'élève à.	8,000

En outre, cela est maintenant bien reconnu, mais il faut le répéter, les moutons, et particulièrement ceux de Provence, détruisent la montagne; la vache peu à peu sollicite le paysan à l'amélioration de ses pâturages.

L'objection que l'on fait à l'introduction des vaches, c'est la difficulté de les nourrir en hiver. Le remède est dans l'extension des prairies naturelles et artificielles par l'irrigation. Ce qui est possible en Suisse n'est pas impossible en France. La culture des céréales a cessé d'être productive dans un grand nombre de cantons où les blés étrangers pénètrent à des prix très-bas; ainsi le développement des voies de communications facilite la conversion des champs en prairies.

Enfin, M. de Guiny termine son travail en constatant que la transhumance — ainsi qu'on commence à le comprendre dans les Alpes — est destinée à s'éteindre. Le nombre des moutons qui émigrent diminue chaque jour; le colmatage et la mise en culture de la Crau contribueront à accélérer ce résultat. D'ailleurs les vaches

se prêtent très-bien à la transhumance; cette pratique est usuelle en Suisse et en Savoie pour l'avantage réciproque de la plaine et de la montagne; mais les migrations des vaches n'entraînent pas les inconvénients de celles des moutons.

Aux considérations que nous venons d'analyser, on peut ajouter encore que le progrès de l'industrie, en exigeant l'introduction des laines étrangères, a porté un coup sensible aux moutons indigènes et placé l'agriculture française dans l'heureuse obligation d'améliorer ses pâturages pour les livrer au gros bétail qui donne un meilleur revenu.

Un peu d'égoïsme est ici légitime, et l'on peut se réjouir de voir émigrer vers l'Amérique ces troupeaux de moutons qui ont déjà ruiné l'Asie Mineure au temps d'Abraham, la Grèce et la Sicile, à l'âge d'or célébré par Théocrite et Virgile, et qui, de nos jours, ont excité la colère de tous les hommes que préoccupe l'avenir de nos montagnes (1).

---

(1) Certains auteurs attribuent la ruine et la dépopulation de l'Islande à l'exagération du menu bétail. La disette d'herbes est telle aujourd'hui que les troupeaux sont nourris l'hiver avec du poisson desséché.—Les chèvres ne valent guère mieux que les moutons. Napoléon Ier visitant la Bresse reçut une députation des paysans du Jura : *Que puis-je faire pour vos montagnes ?* — dit l'empereur.— *Sire*,—répondit un paysan,—*faites nous une loi contre les chèvres.* — Cependant la chèvre est la ressource du pauvre : elle trouve sa nourriture dans des rochers inaccessibles aux moutons ou aux vaches, il est difficile de l'exclure totalement.

Pour accélérer la substitution des vaches aux moutons, il suffira, sur un grand nombre de communaux régénérés, d'admettre les premiers et d'exclure les autres.—De 1848 à 1865, trente-huit associations fromagères se sont créées spontanément dans les Hautes-Alpes; il est donc permis de croire qu'elles se multiplieront rapidement dans les quartiers où le gros bétail sera admis sur les pâturages (1).

Ainsi, l'exploitation des montagnes, sous le contrôle éclairé et indulgent de l'administration, est la conséquence naturelle de leur régénération, ou, pour mieux dire, ces deux actes ne sont qu'une seule et même opération à laquelle appartient essentiellement le caractère de l'utilité publique. Une même administration, une

---

(1) L'introduction du gros bétail serait encore facilitée par le développement des canaux d'arrosage qui remplaceraient de maigres labours par de fertiles prairies. Sur le sol et sous le climat exceptionnel des Hautes-Alpes, l'irrigation produit des effets merveilleux. Tous les observateurs en ont été frappés. (*Surell*, 2e édition, 1er vol., p. 232.)

Lorsque la France voudra sérieusement régénérer ce pays, elle l'enveloppera d'un vaste réseau d'irrigation, de sorte que pas une goutte d'eau courante ne soit perdue et que pas un revers accessible ne reste privé d'eau.

Extinction des torrents, irrigation des revers, exploitation méthodique des communaux régénérés, tels sont les trois termes de la tâche une et indivisible qu'il faudrait pouvoir confier à une seule administration chargée du service des *eaux*, *prairies* et *forêts*.

Voyez aussi sur l'avenir des irrigations dans les Hautes-Alpes le *Mémoire* publié à Lyon en 1867 (chez Vingtrinier) par le docteur Rozans, médecin en chef à Briançon : *Sur la nécessité de réformer le système agricole dans les Hautes-Alpes en vue de l'amélioration des montagnes et de la préservation des plaines.*

même loi doit embrasser les deux parties de l'œuvre, de même que la construction et l'exploitation des chemins de fer sont régies par un seul cahier des charges et confiées à une même Compagnie.

Le moment présent est favorable pour présenter ces idées : les pouvoirs conférés à l'administration pour dix ans par la loi de 1860 sont expirés, et de nouveau le législateur doit être saisi de la question.

Il convient évidemment de refondre en une seule les deux lois de 1860 et de 1864, et d'embrasser en même temps le présent et l'avenir, la régénération et l'exploitation.

Mais lorsque le législateur étudiera cette loi unique, il ne devra pas perdre de vue que nos populations pastorales sont arrivées au dernier degré de la pauvreté et du dénûment, et que, sans un secours extérieur, c'est-à-dire sans une subvention de l'État, elles ne sauraient elles-mêmes améliorer leur sort.—Nos paysans des Alpes, par leur vie si rude et si laborieuse, seraient autorisés à porter envie aux ouvriers les plus déshérités de nos grandes villes, et cependant ces paysans ont-ils jamais troublé l'État de leurs plaintes ?—Attachés à leurs durs rochers, ils souffrent en silence donnant à la patrie, sans se plaindre, leur sang et le fruit de leurs sueurs (1).

(1) Pendant la guerre de 1870, le département des Hautes-Alpes s'est imposé d'une somme égale à ses quatre contributions directes, et le sixième de la garde-mobile est resté sur le champ de bataille.

Ces pâturages, jetés en draperie sur les sommets de nos montages, sont un triste domaine si on les compare aux riches plaines qui entourent nos villes, et que la nature ainsi que l'art ont comblées de leurs faveurs. Il faut donc se garder d'appliquer à cette région pastorale les vues théoriques, les procédés sommaires qui sont familiers aux administrations centrales. Tout en rendant justice aux efforts faits par les fonctionnaires des *Eaux et forêts* pour concilier l'intérêt public dont ils ont la charge avec l'intérêt particulier des communes et des habitants, il est permis de recommander au législateur de donner aux populations le moyen de faire entendre leurs plaintes et de les faire valoir lorsqu'elles sont justes.

La loi qui se prépare sera bonne si elle embrasse à la fois la régénération et l'exploitation des montagnes; si elle s'inspire de ce large et libéral esprit qui anime la société moderne; si elle consacre, dans la pratique, cette solidarité qui existe forcément dans le corps social entre les plus pauvres et les plus riches, c'est-à-dire si, par une large et généreuse intervention de l'État, elle réalise dans l'ordre moral cette parole déjà vérifiée dans l'ordre physique : *Flumina revertuntur ad montes ut iterum fluant*. De la montagne descendent dans la plaine les eaux courantes, la force motrice et les limons fertiles; qu'à son tour, la plaine répande sur la montagne, comme une alluvion fécondante, le capital, la science et le travail !

CHAPITRE X.

OUVRAGES D'ART CONTRE LES TORRENTS.

La guérison radicale des torrents, leur extinction, ne peut être obtenue que par le *boisement* ou le *gazonnement* du bassin : cette proposition n'est plus contestée par personne. Par suite, le traitement des torrents a été confié à l'administration forestière, dont les premiers succès, rappelés dans les chapitres qui précèdent, autorisent de grandes espérances.

Mais il existe des torrents dont le bassin ne peut être ni boisé ni gazonné; ceux-ci sont *incurables :* on ne peut espérer de les éteindre, et l'effort de l'industrie humaine doit se borner à limiter le mal par des ouvrages d'art, de même qu'à certaines infirmités qu'on désespère de guérir, on oppose des appareils de chirurgie pour les rendre moins pénibles. Cette distinction fournit un moyen facile de partager le domaine des torrents entre les forestiers et les ingénieurs : aux premiers, les torrents qu'on peut éteindre; aux autres, les *incurables*. Les forestiers opposent à la violence des eaux la force supérieure de la végétation, ils sont assurés de la

victoire; les ingénieurs, réduits au faible secours de l'art, luttent contre les forces les plus énergiques de la nature : leur seule espérance est de retarder une défaite inévitable.

Les torrents qu'on ne peut éteindre ont, d'ordinaire, pour *Bassin de réception*, soit un glacier, soit un cirque de roches en ruine, soit des revers qui s'élèvent au-dessus des limites de la végétation. Ces sortes de torrents ne se rencontrent guère que dans les plus hautes montagnes, et, lorsque du fond d'un pareil bassin, on promène le regard sur les escarpements qui le dominent, on peut mesurer l'énergie destructive des hivers. Les moraines, les *casses* ou *torrents blancs*, les cônes d'éboulis ou d'avalanches dont les talus mouvants s'appuient contre la muraille des rochers, sont autant de convois de pierres qui, peu à peu, descendent au thalweg pour encombrer le lit du torrent.

Dans le bassin du Rhin, on compte 71 glaciers d'une superficie de 266 kilomètres quarrés, et dans le bassin du Rhône, 316 glaciers de 1.037 kilomètres quarrés (1).

Ces chiffres montrent l'importance que peuvent prendre, dans certaines régions, les seuls torrents glaciaires qui ne forment eux-mêmes qu'une classe parmi les torrents *incurables*.

Lorsque l'ingénieur a acquis la conviction qu'il est

(1) *Fraisse, Correction du Rhin.* Lausanne, Bridel. 1868.

impossible d'éteindre le mal à sa naissance, il ne lui reste plus à choisir qu'entre deux partis, suivant la disposition des lieux à l'aval. S'il existe une rivière ou un lac capable d'absorber les déjections du torrent, on cherche à conduire les graviers jusque-là, en augmentant la force d'entraînement des eaux; si, au contraire, les déjections du torrent sont une cause de désordre dans la plaine, il faut, autant que possible, les retenir dans les gorges de la montagne : dans le premier cas, on emploie des *digues* et, dans le second, des *barrages*.

De nombreux auteurs ont traité spécialement de ces sortes d'ouvrages; parmi les plus récentes de ces publications, il en est trois qui offrent un intérêt particulier; leur analyse fera l'objet du présent chapitre.

1° Études sur les torrents des Hautes-Alpes

Par M. Spion Gras, Ingénieur des mines (1).

Après avoir défini les torrents, l'auteur divise leur cours en quatre parties : *bassin de réception*, *canal de réception*, *lit de déjection* et *lit d'écoulement*. Il distingue, parmi les torrents à lit de déjection, quatre classes sui-

---

(1) *Annales des ponts et chaussées*, 1857, t. II. — *Annales des mines*, t. IX, p. 1.

vant la nature de leur bassin de réception (1). L'étude des lois de l'entraînement des corps solides par les eaux torrentielles le conduit à admettre deux modes distincts d'entraînement des cailloux : le *transport en masse* et le *transport partiel*, le premier produit par les crues *excessives*, le second par les crues *moyennes*. Ces deux genres de crue ont des effets opposés sur le lit de déjection; les crues excessives abandonnent en mourant sur le lit de déjection une couche de boue et de graviers parmi lesquels les eaux s'éparpillent en nappes maigres; les crues moyennes, au contraire, affouillent le lit de déjection et y creusent un chenal après avoir emporté les menus matériaux (2).

M. Scipion Gras s'occupe peu du bassin de réception; cela tient à ce qu'il a étudié surtout des torrents dont le

---

(1) Ces divisions artificielles, plus compliquées que celles de *Surell*, ne paraissent offrir aucun avantage. Par exemple, le *lit d'écoulement* faisant suite au *lit de déjection* ne se trouve que dans les vallées très-larges; il n'existe presque jamais chez les torrents très-actifs.

(2) Ce *triage* des matériaux est très-énergique sur les torrents qui tendent à s'éteindre ou seulement à prendre un régime plus constant. Il arrive même que les petits matériaux étant tous entraînés, il ne reste plus que les gros : le lit est alors garni d'un *enrochement spontané* qui s'oppose énergiquement à l'érosion, et par suite, le torrent ne peut plus s'encaisser. Il faut alors donner un peu d'aide au torrent; on déplace les plus gros blocs et on les range sur les bords. Les eaux rassemblées entre ces digues grossières affouillent de nouveau. Ce système est très-usité en Suisse. L'ordre à suivre est celui-ci : reboiser les parties du bassin qui en sont susceptibles; dès que le torrent manifeste une tendance à s'encaisser dans ses déjections, faciliter son action en écartant l'*enrochement spontané* des blocs mis à nu par le *triage*.

bassin de réception n'est pas susceptible de boisement; au contraire, justement frappé des inconvénients résultant des cônes de déjection, il cherche à modifier la marche naturelle des graviers; il discute les deux systèmes caractérisés par les digues ou les barrages, et se prononce expressément pour les barrages. L'auteur résume ainsi son opinion sur ce point important :

« En résumé, le premier procédé (l'endiguement) « pour supprimer un lit de déjection est souvent impra- « ticable ou bien son succès est incertain; quand il « réussit, il ne fait que déplacer le mal. Il est donc « *très-défectueux et doit être abandonné.*

« Il reste le second procédé : nous avons à démon- « trer qu'il est possible, *applicable à tous les torrents*, « et qu'il n'offre pas les mêmes inconvénients que le « premier. Ici commence la partie la plus importante « de notre tâche. »

Cette citation caractérise la méthode de M. Scipion Gras, qui est avant tout un esprit systématique : il observe les phénomènes naturels avec beaucoup de précision, puis il s'occupe à distinguer, à classifier, et finalement il se concentre en un système unique et exclusif. Il semble cependant que la contemplation de la nature inspire une grande défiance contre les formules systématiques. On aura beau déprécier les digues et vanter les barrages, il n'en reste pas moins certain que, dans certains cas donnés, le praticien reconnaîtra d'un coup d'œil que les digues sont préférables aux barrages. Il

faudrait donc, dans une étude de ce genre, éviter de faire un procès à l'un ou l'autre système, et se borner à montrer nettement dans quel cas chacun d'eux doit être préféré.

M. Scipion Gras, s'étant prononcé exclusivement pour les barrages, en distingue deux systèmes, suivant qu'il veut obtenir la retenue *complète* ou la retenue *partielle* des graviers. Il recommande des barrages insubmersibles pour le premier cas, et des barrages submersibles pour le second (1).

Le premier genre de barrages, ceux dits insubmersibles quoique destinés à être surmontés par le torrent, rentrent dans la catégorie des barrages usités depuis longtemps. Etablis dans quelque position favorable des gorges, ils ont pour objet de déterminer un atterrissement en amont. Si le réservoir destiné aux atterrissements est très-considérable, si le charriage est lent, un pareil barrage pourra faire sentir son effet à l'aval pendant plusieurs années.

Les barrages submersibles constituent, à proprement parler, le système dont M. Scipion Gras revendique la priorité (2). Ce système est fondé sur cette analyse très-délicate de l'effet des crues : les hautes eaux n'acquièrent toute leur violence que dans un chenal où

(1) Il est inutile de parler ici des *labyrinthes de retenue*, ouvrages bizarres et compliqués que l'auteur propose sans indiquer aucun cas où leur application soit possible.

(2) Note de la p. 51. Mémoire cité.

elles se rassemblent; si on les oblige à s'étaler, leur force diminue et les gros matériaux se déposeront. Pour obliger les eaux à s'étaler, il faut élever sur un élargissement du lit un seuil inattaquable et horizontal : les eaux ne pouvant se concentrer en un point plus bas que les autres s'étalent en nappe sur ce seuil et forment un atterrissement en amont.

Lorsque la crue excessive, qui est un événement relativement rare, est passée, les crues moyennes, qui sont plus nombreuses, remanient cet atterrissement et emportent en détail ce que la crue excessive a déposé en masse, sauf toutefois les très-gros blocs que les crues excessives peuvent seules entraîner et qui seront retenus en amont du barrage; par suite, les inconvénients des crues excessives sont atténués, étant répartis sur un grand nombre de crues inoffensives. Il n'est pas nécessaire que ces barrages soient très-élevés ni, par suite, très-solides : il suffit que leur crête supporte le frottement des cailloux entraînés, et que leur pied résiste à la faible chute des eaux.

On voit, par cette courte exposition, que le système de M. Scipion Gras est en opposition directe avec les usages anciens : pour planter un barrage, on choisissait d'ordinaire un étranglement du lit, de sorte que l'ouvrage étant court, on pouvait, sans grande dépense, lui donner une épaisseur capable de résister à la violence des eaux.

M. Scipion Gras recommande de chercher des élar-

gissements, et même il propose d'établir sur les cônes de déjection des ouvrages du même genre qu'il appelle des *barrages-radiers*. Pour garantir la plaine du *Bourg-d'Oisans* (le fond de l'ancien lac *Saint-Laurent*) contre les ravages de la *Romanche* et du *Vénéon*, qui débouchent chacun d'une gorge différente, M. Scipion Gras projette un *barrage-radier*, arrasé horizontalement, dont la longueur n'aurait pas moins de 763 mètres, et sur lequel il suppose que les deux torrents, réunissant leurs crues, consentiraient à se déverser en nappe régulière de 32 centimètres de hauteur.

Théoriquement le système serait irréprochable si le barrage-radier présentait un pertuis dont les portes mobiles seraient fermées pour les crues excessives et ouvertes aux crues moyennes; on pourrait supposer que les crues moyennes entraîneraient par le pertuis les graviers déposés par les crues excessives et que le réservoir préparé en arrière du barrage, étant incessamment déblayé, serait toujours prêt à recevoir le dépôt des crues excessives; mais des portes mobiles sont des ouvrages trop délicats pour le lit des torrents, et si l'on s'en tient au long barrage que M. Scipion Gras propose, et que l'on peut considérer comme une exagération propre à faire reconnaître les défauts du système, deux objections se présentent :

1° Il sera pratiquement très-difficile et très-coûteux de construire sur un lit de déjection, c'est-à-dire sur un sol formé de graviers sans consistance, un barrage de près d'un kilomètre de long, mis en travers de deux

torrents fougueux dont la violence se portant tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, aura bientôt trouvé quelque point faible.

2° Lorsque les crues successives auront rempli le réservoir en amont du barrage, le remaniement des crues moyennes n'aura pas lieu plus activement qu'auparavant. Pourquoi la vallée s'encombre-t-elle aujourd'hui? — C'est parce que les crues moyennes n'enlèvent pas ce que les crues excessives ont déposé. — Quel changement le barrage apportera-t-il à cette situation? — Aucun; en effet, le *statu quo* se produira, mais à un niveau supérieur, parce que le torrent reprendra la *pente-limite*, c'est-à-dire le profil de compensation vers lequel il tend à chaque instant : il lui importe peu que le niveau d'aval soit déterminé par un ouvrage d'art ou par ses déjections actuelles. Étant donnés deux points fixes, savoir l'origine supérieure de l'entonnoir et la crête du barrage, le torrent ne sera en repos que lorsqu'il aura réuni ces deux points par la courbe qui lui convient, et dans laquelle la pente correspond en chaque point au régime actuel et local du torrent.

Il est très-remarquable que cette considération si essentielle de la *pente-limite* soit absente du mémoire que nous analysons ici : l'auteur, qui adopte la plupart des termes devenus classiques de M. Surell, ne prononce pas une fois ce mot de *pente-limite*, qui est l'objection la plus grave de son système.

Quoi qu'on fasse, les barrages, lorsqu'ils n'ont pas

pour objet d'arrêter l'écroulement des berges et de faciliter leur boisement, ne sont qu'un expédient transitoire, et leur théorie paraît se réduire à ceci : chercher le lieu où, moyennant la plus faible dépense, on produira la plus grande retenue de graviers. Au contraire, d'après M. Scipion Gras, « les barrages offrent trop de ressources « pour n'espérer d'eux qu'une simple amélioration. Nous « sommes convaincu, et nous croyons avoir justifié « notre opinion, que, si on les emploie d'une manière « judicieuse et en nombre suffisant, on pourra, dans tous « les cas, supprimer les lits de déjection... »

Le système de M. Scipion Gras a été l'objet de deux applications pratiques, l'une sur la *Roise*, près de Grenoble, l'autre sur le *Riou-Bourdoux*, dans les Basses-Alpes.

M. Culmann a visité les barrages de la Roise trois ans après la publication du mémoire de M. Gras; il s'exprime ainsi :

« Lors de notre excursion (octobre 1860), nous avons « trouvé qu'une forte débâcle avait justement passé sur « un barrage et qu'une grosse coulée de décombres s'était « arrêtée derrière le barrage supérieur. Le petit pont « en bois qui se trouve un peu au-dessus avait un dé- « bouché évidemment trop faible et fut emporté. Le « barrage lui-même ne put pas résister non plus...

« Il est clair que l'ouvrage résista jusqu'à ce que l'a- « terrissement eût atteint son arête supérieure, et que, « dès que ces blocs mêmes d'un faible volume commen-

« cèrent à rouler sur ces marches d'escalier, les chaî-
« nons formés de barres de fer de $0^m,02$ de diamètre
« cédèrent au choc et s'ouvrirent... »

Du reste, M. Culmann critique le mode de construction plutôt que la théorie de ces barrages, mais il ne paraît pas leur attribuer d'autre effet que de déterminer un atterrissement comme toute autre espèce de barrage.

Actuellement (1), le lit de la Roise offre au visiteur l'apparence ordinaire d'un lit de torrent. Les barrages réparés sont surmontés par les atterrissements, et l'ancien état paraît s'être exactement reproduit à un niveau supérieur. De nouveaux projets sont à l'étude, et sans doute on sera conduit à établir dans quelque passage convenable un très-fort barrage, disposé pour arrêter les graviers pendant une durée aussi longue que possible.

D'après M. Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées, l'essai tenté sur le Riou-Bourdoux n'a pas été plus heureux : le barrage a péri par le vice de sa construction.

Malgré cet insuccès, les ingénieurs qui, n'ayant pas acquis une grande expérience personnelle des phénomènes torrentiels, ont cependant affaire aux torrents, liront avec beaucoup de fruit le mémoire de M. Scipion Gras, caractérisé d'*excellent* par M. Culmann; ils trouveront un grand nombre de faits très-bien observés et apprendront à observer eux-mêmes.

---

(1) J'ai visité la Roise en 1869. — E. C.

2° Mémoire sur les barrages de retenue des graviers dans les gorges des torrents.

Par M. Philippe Breton, Ingénieur en chef des ponts et chaussées (1).

Ce mémoire est un véritable traité de géométrie torrentielle : l'auteur y démontre avec une élégante clarté les principaux théorèmes relatifs à l'entraînement des graviers, au profil du lit, aux différentes sortes de cônes, dont la *troncature* et la *reproduction* sont expliquées par de jolis croquis pris sur nature.

M. Breton s'excuse presque de s'arrêter à décrire des effets si connus dans les montagnes; mais, outre que l'agrément de sa démonstration lui assure la faveur du lecteur, combien de personnes passent à côté des plus intéressants phénomènes de la nature sans les remarquer ? Et n'est-ce pas une vive jouissance pour le voyageur lorsque, éclairé par les leçons des maîtres, il sait se rendre compte de tous les accidents de ces surfaces tourmentées et déchiffrer, d'un coup-d'œil, dans ces archives de pierre, l'histoire ancienne de la montagne?

Ce talus rapide est un cône d'éboulis qui descend de cette brèche; celui-ci, moins incliné, est façonné par l'avalanche; cet autre présente les pentes adoucies d'un cône torrentiel. Ce monticule adossé à la mon-

(1) Paris, Dunod, 1865.

tagne est un cône antique qui encombrait la vallée; près de la gorge se cache un village; la flèche du clocher pointe par-dessus les dômes massifs des noyers; vers la base, la rivière a jadis ouvert une troncature, par une incidence offensive, puis elle s'est rejetée à l'autre bord de la vallée; un cône récent s'est greffé en avant de la troncature. Non loin de là, une moraine, plus ancienne encore et presque enfouie sous le cône, reporte l'esprit à l'époque où ces campagnes, aujourd'hui si riches et si vivantes, étaient semblables aux fiords désolés du Groënland et dormaient ensevelies sous un manteau de glace.

« Les diverses questions relatives à l'établissement des « barrages pour la retenue des graviers ont été l'objet « d'études déjà nombreuses. Néanmoins, les idées ne me « semblent pas encore bien fixées sur les résultats à at- « tendre de ces barrages : il reste encore de grandes « hésitations sur le choix de l'emplacement, sur le « nombre des barrages, sur la manière la plus convena- « ble de les construire, sur la durée de leur efficacité. « Après avoir longtemps réfléchi sur ces questions, je « me suis arrêté à cette idée que, pour préserver de l'in- « vasion d'un torrent une plaine où il débouche, il faut « établir en premier lieu un seul barrage placé à la sortie « de la gorge ou tout auprès; puis un second barrage à « quelques mètres seulement en amont du premier, lors- « que celui-ci cessera d'être efficace; puis un troisième « à quelques mètres en amont du second, lorsque, à son « tour, le second aura achevé le service qu'il peut rendre, « et ainsi de suite. Tel est le sujet de ce mémoire. »

Cette citation, extraite de l'avant-propos, permet de juger que le système de M. Breton est directement contraire à celui de M. Scipion Gras : il ne s'agit plus de barrages peu élevés ou seuils étendus dans les élargissements du lit, mais de solides ouvrages élevés aussi haut que possible, par étages successifs, dans un étranglement de la gorge et construits, non en blocs enchaînés l'un à l'autre, mais en maçonnerie hydraulique la plus résistante qu'on pourra obtenir.

« Les barrages où l'on emploierait le bois pour sup-
« pléer au défaut de cohésion des graviers, dureraient
« peu, car les bois à demi enterrés dans les graviers,
« souvent à sec et souvent mouillés, pourriraient promp-
« tement, aussi vite que les *cabrettes*, plus vite que les
« coffrages connus sous le noms d'*arches* dans les mon-
« tagnes du Dauphiné et de la Provence. Les barrages
« exécutés tout en enrochements et ceux en maçonnerie
« en pierres sèches ne coûteront jamais beaucoup moins
« et quelquefois plus cher que ceux en maçonnerie hy-
« draulique. Ceux-ci ont sur la pierre sèche et sur les
« enrochements un avantage considérable, c'est leur
« cohésion. Dès qu'une brèche aura entraîné un bar-
« rage un peu haut, tout en enrochements ou en maçon-
« nerie à pierres sèches, le courant violent qui va se
« précipiter par la brèche commencée l'agrandira ra-
« pidement et en fera une grosse avarie. Dans la ma-
« çonnerie hydraulique, les coupures ne peuvent s'a-
« grandir que lentement, en sorte que la crue s'écoule
« avant que l'avarie ait pris de l'importance.

« Je ne fais ici qu'étendre aux barrages de retenue des

« graviers la règle pratique adoptée dans le départe-
« ment de l'Isère pour les digues longitudinales. M. Picot
« et les ingénieurs sous ses ordres avaient observé sou-
« vent qu'un perré à pierres sèches est coupé, depuis le
« bas jusqu'en haut, dès que la fondation est entamée:
« voulant compléter ces observations en les rendant
« comparatives, ils essayèrent de bâtir des perrés ma-
« çonnés avec du bon mortier hydraulique. L'expérience
« n'a pas tardé à montrer d'abord que les digues ainsi
« maçonnées ne coûtent pas beaucoup plus cher que
« celles à pierres sèches, parce qu'on peut y employer
« des matériaux moins gros et donner au perré moins
« d'épaisseur; et ensuite, ce qui est capital, c'est qu'un
« perré maçonné avec du bon mortier peut éprouver
« à sa base une avarie considérable sans être à l'instant
« coupé jusqu'en haut, car la partie supérieure se sou-
« tient à l'état de voûte. On a ainsi le temps de venir
« au secours... »

Après avoir examiné en détail les différentes questions qui se rattachent aux barrages, M. Breton réfute une objection fréquemment reproduite :

« J'ai entendu souvent des hommes instruits et intel-
« ligents objecter contre le système de retenue des
« graviers par des barrages, la crainte de la rupture de
« ces ouvrages. Lorsque ces ouvrages auront amoncelé
« derrière eux une grande masse de graviers, s'il sur-
« vient une rupture, toute cette masse ainsi retenue
« au-dessus de son niveau va, disait-on, se remettre
« subitement en marche et causer en aval une cata-

« strophe épouvantable. Comme preuve à l'appui de « cette crainte, on citait les effets attribués à l'évacua- « tion subite du lac Saint-Laurent qui, échappé de la « plaine de l'Oisans, ravagea les vallées de la Romanche « et du Drac jusqu'à Grenoble : on pourrait citer de « même les désastres lamentables produits en une seule « nuit lors de la rupture du réservoir de Sheffield. On « oublie que dans ces deux exemples, comme dans tous « les autres que l'on pourra citer où la rupture d'un « réservoir à causé en aval une catastrophe subite, il « s'agissait d'un réservoir d'eau, et non pas d'un réser- « voir de sable, terre et gravier.

« Aussi, je craindrais fort peu cette objection, si elle « devait être jugée seulement par des constructeurs ha- « bitués à voir le mouvement de l'eau et celui des sables « et graviers et sachant les comparer : jamais un ingé- « nieur ne s'avisera de croire que les graviers coulent « comme de l'eau, etc.... »

Viennent ensuite de nombreux exemples relatifs aux effets de la rupture d'un barrage.

M. Breton n'a garde d'oublier le boisement ou le gazonnement du bassin de réception ; il reconnaît nettement que la végétation a le pouvoir d'éteindre les torrents ; il ne propose les barrages que comme expédient transitoire, soit contre les torrents incurables, soit lorsque, par suite de préjugés, difficultés légales, etc., le traitement forestier doit être longtemps retardé.

3° Rapport au Conseil fédéral sur les torrents des Alpes suisses inspectés en 1858, 1859, 1860 et 1863.

Par M. le professeur CULMANN (1).

La Suisse est un pays véritablement privilégié : le politique, le savant, l'artiste, le simple piéton, chacun enfin, quelles que soient les préoccupations ordinaires de son esprit, y trouve de nombreux sujets d'étude; c'est par centaines de mille que les touristes des deux mondes visitent annuellement cette terre classique des nobles paysages, des sciences naturelles et de la liberté (2). Au point de vue de nos études, la Suisse est tout simplement une protubérance, une bosse qui s'élève sur les hauts plateaux de l'Europe ; c'est le réservoir d'une distribution d'eau ; c'est aussi un laboratoire ou plusieurs milliers de torrents, d'accord avec les glaciers, travaillent à niveler l'écorce rugueuse de notre planète. Toutes ces eaux sortant des neiges éternelles, se précipitent en cascade au fond des vallées; elles remblayent de leurs alluvions les bassins de cent vingt lacs, et, partiellement clarifiées, s'échappent vers les quatre points cardinaux pour se jeter dans quatre mers, après avoir arrosé l'Allemagne par le Danube et le Rhin, la France par le Rhône, l'Italie par le Pô et l'Adige.

---

(1) Lausanne. Corbuz. 1865.

(2) Les religieux du grand Saint-Bernard m'ont assuré qu'ils hébergent en moyenne 40.000 visiteurs par an, et qu'il en passe quelquefois 800 dans un seul jour de la belle saison.— E. C.

Les ingénieurs de ce pays, élevés au bruit des torrents, habitués dès l'enfance aux mille caprices des eaux de montagne, acquièrent vite en cette matière une expérience spéciale ; ils sont peu portés aux généralisations, aux théories systématiques, aux définitions géométriques ; ils s'attachent plus volontiers aux particularités et, pour chaque cas, recherchent une solution différente et adaptée aux circonstances locales. Tel est le caractère de l'ouvrage de M. Culmann, dont un extrait a déjà été donné ci-dessus, chap. VII, page 182.

En 1856, le météore aqueux qui a désolé la France n'a pas épargné la Suisse; le conseil fédéral s'émut et chargea l'un de ses plus habiles hydrauliciens de parcourir tous les cantons, et, pour chaque torrent, de signaler le mal et le remède. En même temps, et pour obéir à la clameur publique qui attribuait justement à la dévastation des forêts les ravages des eaux, une mission forestière fut organisée parallèlement à la mission technique. Les deux rapports ont été publiés en allemand et en français : ils s'accordent tous deux sur l'action préservatrice des forêts ; toutefois, celui de M. Culmann s'attache particulièrement aux cours d'eau pour lesquels l'art de l'ingénieur doit venir en aide au reboisement.

Le rapport de M. Culmann passe en revue plusieurs centaines de torrents : c'est un répertoire de faits isolés, bien observés, sobrement indiqués, avec des croquis élémentaires, mais démonstratifs. On n'en saurait trop recommander la lecture aux ingénieurs qui ont à lutter

contre les eaux de montagne. Çà et là certains adages favoris de l'auteur sont répétés à propos de quelques cas particuliers : ce sont autant de théorèmes dispersés au milieu de matériaux pratiques et dont la réunion formerait un traité didactique.

Voici quelques-uns des enseignements généraux qui se dégagent de ce livre :

Boisement et gazonnement. — En Suisse, comme ailleurs, le mal des torrents n'est pas toujours un mal nécessaire : il naît le plus souvent du désordre et de l'incurie des habitants. Le principal remède, le seul décisif et définitif, c'est le boisement ou le gazonnement qui étouffent le mal à la source : *principiis obsta.* Les cantons qui ont respecté leurs forêts sont les moins attaqués; ceux qui les ont dévastées, et particulièrement les cantons italiens, sont menacés comme les Hautes-Alpes françaises d'une ruine complète. M. Culmann rapporte un grand nombre d'exemples où, par suite du défrichement d'un quartier boisé, un torrent resté jusque-là inoffensif devient tout à coup dangereux.

Centralisation. — M. Culmann compte sur l'initiative privée plus que sur l'intervention des autorités cantonales ou fédérales : « Cette excursion dans la vallée de « Poschiavo a été d'un grand intérêt pour nous; sa « population indépendante sait maintenir le pays en « ordre et le défendre contre les éléments sans recourir « à l'assistance extérieure. Si les gens étaient partout « comme ici, toute participation de la Confédération à

« la correction des torrents, soit par des conseils, soit « par des secours matériels, serait inutile. »

Passant ensuite à la Valteline italienne, il s'exprime ainsi :

« Nous avons eu l'occasion de suivre l'Adda depuis « sa source, pour ainsi dire, jusqu'à Sondrio, en nous « rendant d'Umbrail dans la vallée de Poschiavo, et « nous avons pu faire l'observation que, même dans « cette vallée méridionale, les eaux des montagnes con- « servent leur caractère sauvage, que les forêts y sont « traitées avec aussi peu de ménagement que de l'autre « côté des montagnes, et que, de tous côtés, les eaux en- « sevelissent et ravinent les plus belles cultures, en dépit « des hautes directions des travaux publics et de leurs « prescriptions. »

Tout en comptant sur l'énergie intelligente des populations, l'hydraulicien suisse insiste, en plusieurs endroits, sur la nécessité d'une action commune concertée entre tous les intéressés d'un bassin sous le contrôle de l'autorité centrale. Le défaut d'entente, l'anarchie en un mot, est fréquente dans ces petites républiques cantonales, et ceux que blessent les excès de notre centralisme seraient quelquefois amenés à le regretter en voyant les défauts contraires de l'individualisme.

« Dans le Tessin, les particuliers et les communes ne « défendent que les points menacés et ne s'inquiètent « aucunement ni du cours futur de la rivière, ni des

« cultures de la rive opposée. Les ingénieurs assurent « que l'on ne peut obtenir d'argent de ces gens-là qu'à « condition de l'appliquer sur leurs propres fonds. Il est « très-difficile de les décider à contribuer aux travaux « d'une rive normale quelque peu éloignée de leurs pro- « priétés, et l'on n'a jamais réussi à obtenir de contri- « bution de commune ou de particulier, pour des con- « structions à exécuter sur la rive opposée, lors même « que la défense y aurait été plus facile (1)... »

Voici un autre exemple :

La Landquart est une rivière du canton des Grisons qui se jette dans le Rhin supérieur ; elle-même reçoit un grand nombre de torrents qui l'encombrent de leurs déjections et, par suite, elle exhausse son lit. Les riverains menacés par cet exhaussement ont régularisé et endigué la rivière ; augmentant ainsi sa force d'entraînement, ils ont poussé les graviers vers l'aval jusque dans le Rhin, qui ne s'est pas trouvé en état de les entraîner : le cours du Rhin a été troublé dans la partie où il sert de frontière entre l'Autriche et le canton de Saint-Gall. De vives plaintes se sont élevées ; mais l'affaire intéresse deux cantons de la Suisse et, en outre, deux gouvernements, la Suisse et l'Autriche. On comprend que sa solution n'est pas facile. M. Culmann constate que si les Grisons, au lieu d'endiguer la Landquart, avaient éteint les torrents qui s'y jettent, ils

(1) *Culmann : Rapport au Conseil fédéral*, p. 35.

auraient, peut-être à moins de frais, guéri les torrents, amélioré la rivière et facilité la correction du Rhin, tandis que les torrents sont restés dans toute leur force ; l'endiguement de la rivière sera bientôt insuffisant et le Rhin, sans doute, est pour longtemps troublé dans son cours. Il aurait suffi que, dans le seul canton des Grisons, l'autorité centrale intervînt dans la direction des travaux. On ne saurait trop le répéter, toutes les parties d'un bassin sont solidaires : une seule direction doit les embrasser toutes.

Il faut d'ailleurs se garder de croire que la Suisse ignore ces travaux d'ensemble : la correction de la Linth en est un exemple ; entreprise sur l'avis et sous la direction du conseiller Conrad Escher, elle a coûté 1.500.000 fr. et rendu à la culture 20.000 arpents de terrain. Escher mourut au moment où il terminait ses travaux (1822), et sa famille, anoblie par la diète, porte le titre de *Von der Linth*. La loi qui organisa les travaux obligea les riverains des affluents de la Linth à *garder sur leur territoire les déjections de leurs torrents* : chacun s'ingénia, et le canton de Glaris est cité par M. Culmann comme un modèle d'ordre et d'aménagement.

Curage du lit. — Voici un exemple où le *triage des matériaux* par les crues moyennes, observé par M. Scipion Gras et qui a conduit cet ingénieur à son système de barrages, est utilisé pour régulariser le torrent, non plus par barrages, mais par le système rival de l'endiguement : il s'agit de la *Maïra*, torrent des Grisons :

« Mais ce qui a mieux agi que les murs, c'est le « *curage du lit*. Les gros blocs, charriés lors des crues, « la plupart abandonnés au milieu de la rivière, ont été « enlevés et entassés le long de la rive. A la suite de « ces travaux, le lit s'est tellement approfondi, à Vicoso- « prano, que les plus fortes crues n'atteindront plus les « murs, et qu'ainsi la place du Marché se trouve beau- « coup mieux protégée qu'elle ne l'était jadis par les « digues.

« Les dépenses occasionnées par le *curage du lit* sont « extrêmement faibles, car pour la Maïra, ce torrent si « sauvage, elles ne s'élèvent qu'à 300 fr. par an. Nous « ne pouvons assez recommander ce curage comme « moyen de régulariser les torrents qui charrient de gros « blocs lors des crues. A l'aide de ce procédé si simple, « on maintient très-bien le cours régulier des rivières « dans le Bergell et dans l'Engadine, et cela avec une « dépense annuelle de 1.500 fr. pour cette grande « étendue. Les pierres déposées sur les côtés constituent « de véritables digues parallèles qui encaissent la rivière, « augmentent sa puissance d'entraînement et approfon- « dissent son lit avec une rapidité remarquable. Lors « des crues, les dépôts ne se forment plus aussi facile- « ment, et, s'il se dépose quelque chose, on enlève de « nouveau les plus gros blocs, avec lesquels on fortifie « la digue ; en même temps, les matériaux plus ténus « sont ameublis et seront facilement emportés par les « crues ordinaires. Ce procédé donne tout ce que l'on « peut obtenir dans les torrents de montagne, lorsqu'à « la suite d'une faible diminution de pente, ils exhaus-

« sent leur lit sur une grande longueur et débordent « souvent. Il est naturellement insuffisant pour empêcher « la formation d'un cône de déjection, lors des brusques « changements de pente, au débouché dans la vallée « principale, par exemple, mais il s'adapte merveil- « leusement bien à la réorganisation des cours d'eaux « dont l'état empire lentement sur de grandes lon- « gueurs (1). »

Cette opération si simple du *curage du lit* aurait évidemment les résultats les plus heureux, si elle était appliquée dans les Hautes-Alpes aux torrents en voie d'extinction. Si l'administration des forêts consacre à ce curage du lit ou plutôt à ce rangement des blocs une faible partie des sommes consacrées aux barrages, elle accélérera considérablement l'encaissement du torrent dans ses déjections anciennes : les propriétés riveraines du cône, les routes seront plus vite mises à l'abri (2).

---

(1) *Culmann. Rapport au Conseil fédéral*, p. 67-68.

(2) On ne aurait trop recommander à l'administration des forêts, chargée de l'œuvre de l'extinction, d'employer quelques journées de travail sur le *cône de déjection* des torrents dont elle a consolidé le *bassin de réception* par des plantations et des barrages. Ces journées employées à ranger sur le côté du torrent les gros blocs mis à jour par les crues moyennes détermineront, en peu de temps, l'encaissement du torrent dans son cône de déjection. Ce résultat obtenu sera l'éclatante démonstration du succès de l'œuvre de l'extinction ; il donnera aux riverains la confiance justifiée que le cours du torrent est désormais fixé, et ils entreprendront avec sécurité le défrichement du cône de déjection. Ainsi, tandis que, dans la montagne, par les soins de l'administration, un manteau de verdure s'étendra sur les *berges vives*, on verra,

Barrages et digues. — Relativement à ces sortes d'ouvrage, la théorie de M. Culmann peut se résumer ainsi :

Les barrages sont un expédient transitoire en attendant le reboisement ; il faut les construire par séries en commençant par l'aval ; quand le premier barrage est affleuré par les graviers, on en établit un second en arrière, et ainsi de suite...

Il ne faut pas craindre les ruptures de barrages torrentiels : le gravier ne coule pas comme de l'eau. De nombreux exemples de barrages rompus, sans conséquences funestes pour l'aval, sont rapportés par l'auteur.

Les barrages sont préférables contre les torrents, et les digues contre les rivières.

Pour les digues comme pour les barrages, il faut procéder de l'aval vers l'amont.

Les ouvrages en fascines, en bois, etc., lorsqu'on n'en

---

dans la plaine, les cultures des particuliers envahir peu à peu les hideux graviers du cône. — C'est alors seulement que l'œuvre de l'extinction sera parfaite.

Il est évident d'ailleurs que le curage du lit doit procéder de l'aval vers l'amont. — Le torrent de *Sainte-Marthe* près Embrun, se prêterait très-bien à une expérience. En ramenant ce torrent dans l'ancien lit rectiligne qu'il a quitté, il y a quelques années, et en opérant le *curage* à partir de la Durance jusqu'au pont établi près du goulet, on obtiendrait rapidement le profond encaissement du torrent.

attend qu'un effet transitoire, sont souvent préférables à ceux en pierre ou en maçonnerie, parce qu'ils se prêtent aux mouvements du lit. Les fascinages sont une défense mobile sur laquelle la végétation s'établit facilement; les barrages clayonnés sont très-utiles dans les ravins et même sur les talus d'éboulis.

En général, cependant, les ouvrages en pierre sont préférables à ceux en bois, mais ceux-ci rendent de grands services dans les cantons où la population en a la pratique.

« Tous les barrages de torrents exécutés jusqu'ici en « Suisse ont donné des bénéfices; toutes les personnes « qui les ont entrepris s'en montrent satisfaites (1). »

On voit que MM. Culmann et Breton sont en parfait accord sur le rôle des barrages.

Épis. — Les *épis* ne valent rien ni contre les torrents, ni contre les rivières de montagne : ils ne sont bons que contre les rivières tranquilles dont le charriage peu considérable ne se compose que de sable, de menus graviers et non de blocs pouvant attaquer la rive et changer la direction des filets liquides. « Leurs musoirs doivent « former une ligne continue; car, si les uns ne l'attei- « gnent pas et si les autres la dépassent, le courant, rejeté « d'une rive à l'autre, peut occasionner de plus grands « dommages que s'il n'y avait pas de travaux de défense.

(1) P. 323.

« Les épis doivent être assez rapprochés pour qu'il ne « puisse pas se former de lacet entre eux; donc, d'au- « tant plus rapprochés que la rivière est plus petite. Dans « les rivières de montagne, cet espacement est si petit « que des digues continues sont moins coûteuses.

« En Bavière, par exemple, le Danube inférieur est « trop petit pour que le système des épis puisse y être « appliqué; on est obligé d'ajouter une aile plus ou « moins longue au musoir de chaque épi, c'est-à-dire « d'établir immédiatement une partie de la future « rive. On a aussi abandonné le système des épis le « long du Rhin, où il était particulièrement affec- « tionné, et l'on construit maintenant des levées con- « tinues en fascines. Les épis ne peuvent plus être em- « ployés le long du *Lech*, et, lors de la correction de la « *Linth*, on a pu s'assurer que les digues parallèles con- « viennent beaucoup mieux à la défense de ce petit cours « d'eau ; sur tout le canal inférieur de la Linth, elles « ont peu à peu remplacé les épis, qui n'étaient absolu- « ment pas applicables. Nous croyons que toutes les « rivières du Tessin sont trop petites pour être cor- « rigées à l'aide d'épis, à l'exception peut-être du *Tessin* « lui-même au-dessous de *Bellinzone;* et pourtant on ne « voit presque que des épis, appliqués de la manière la « moins systématique et la moins propre à atteindre le « but (1). »

Passages des torrents. — Les routes et les chemins

(1) P. 34-35.

de fer ont, en Suisse, de fréquentes rencontres avec les torrents, principalement dans les vallées, c'est-à-dire sur les cônes de déjection. Lorsque cela est possible, on passe sous le cône; mais souvent on est obligé de passer par-dessus ; dans ce cas, le problème consiste à empêcher le torrent de divaguer sur son cône et à l'obliger à passer sous un pont fixe sans exhausser son lit.

Le seul procédé certain, c'est d'arrêter les graviers dans la gorge par des barrages successifs, en attendant l'effet du boisement. Lorsqu'on a arrêté, ou du moins ralenti, le ravinement dans les gorges, on peut espérer d'empêcher l'exhaussement du cône en enfermant le torrent dans un canal pavé et maçonné, qui rassemble les eaux et augmente leur vitesse d'entraînement. Mais ce procédé suppose que vers l'aval il existe, soit une rivière capable d'entraîner les déjections, soit un lac formant un réservoir indéfini. C'est ainsi qu'on procède près du lac de *Brienz*, dont les bords présentent de riches cultures établies sur des cônes torrentiels ; le torrent est canalisé jusqu'au lac. Toutefois, si dans le bassin de réception le ravinement continue son œuvre, le canal est bientôt rempli et les graviers débordent parmi les cultures (1).

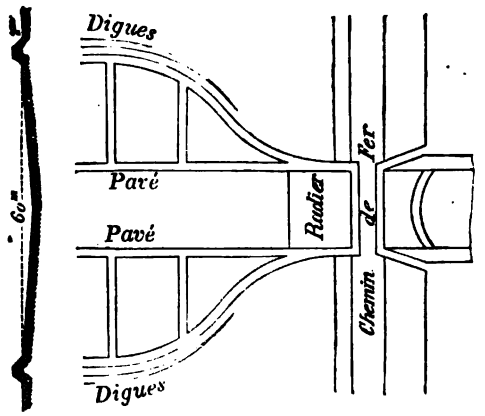
La *Grionne* est un torrent du canton de Vaud. « Son « cône étant coupé par le chemin de fer, on craignit que « la Grionne ne se jetât sur le remblai et ne le détruisît « lorsqu'il se produirait quelque atterrissement immé-

(1) P. 296.

« diatement au-dessus, ainsi que la *Viége* l'a fait près « de Monthey (Valais.)

« La disposition toute particulière esquissée ci-contre « est destinée à prévenir cet accident.

Fig. 9. — Passage de la Grionne.



« On a formé une place de dépôt d'environ 60 mètres « de largeur et 250 de longeur, immédiatement au- « dessus de la voie. Elle est entourée de hautes digues « dans l'intérieur desquelles le fond est incliné d'en- « viron 6 degrés vers le milieu, ce qui lui donne la forme « d'une large rigole aplatie. Vers le pont, elle se rétrécit « en un canal dont le fond est un radier en gros blocs, « se terminant par un mur de chute. Le lit de la Grionne « est encore pavé sur une longueur de 120 mètres, à « l'aval du pont.

« Nous trouvons les motifs de cette disposition en « nous représentant ce qui doit s'y produire lors d'une « débâcle.

« La coulée de boue et de galets s'arrêtera certaine-
« ment dans ce grand ventre du lit, sans le combler, vu
« son étendue. L'atterrissement n'atteindra certainement
« pas la digue, qui restera par suite toujours en état
« d'empêcher tout débordement provenant d'une seule
« crue. Les digues conduiront les eaux sous le pont, d'où,
« débarrassées de leurs alluvions, elles s'écouleront sans
« causer d'autres dégâts.

« Lorsque la crue sera passée, les matériaux reste-
« ront-ils en place, et sera-t-on obligé de les enlever à
« la main, afin qu'ils ne s'y amoncellent pas ? Les orga-
« nisateurs de cet ouvrage pensaient évidemment le con-
« traire. L'atterrissement doit se former au milieu, et
« le fond, incliné de ce côté, doit ensuite y porter les
« eaux, qui, n'étant pas complétement saturées de ma-
« tériaux, corroderont le dépôt, jusqu'à ce qu'il ait
« disparu.

« Cet ouvrage doit donc agir exactement comme celui
« de Clarens, dont nous parlerons bientôt, que l'on peut
« comparer aux labyrinthes de M. Scipion Gras, dans
« lesquels les matériaux dont le cours d'eau est surchargé
« doivent se déposer provisoirement et se répartir sur
« une plus longue période et même sur plusieurs crues.
« Les derniers flots de la crue étant dans la règle moins
« chargés de matières que les premiers, l'emplacement
« sera souvent complétement nettoyé pendant la crue
« même.

« L'avenir montrera jusqu'à quel point ce raisonne-
« ment est fondé.

« *Nous aurions préféré établir quelques barrages dans* « *le bassin de réception, et nous voudrions encore recom-* « *mander leur construction.* Ils mettraient en sécurité « non-seulement le chemin de fer, mais encore tout le « cours de la Grionne, du chemin de fer jusqu'au-des- « sous du Devens.

« Si l'on avait commencé par là, un simple canal aurait « suffi sous le pont (1). »

Le torrent de la *Tinière*, célèbre parmi les archéologues auxquels son cône a livré tant de restes de l'âge de pierre, est conduit par-dessus le chemin de fer dans un pont-canal et à l'aval, jusqu'au lac de Genève ; « les eaux « s'écoulent dans un beau radier, parfaitement nettoyé, « où des blocs de $3^{m},40$ de diamètre rouleront encore. »

Torrents glaciaires. — Les torrents sortant d'un glacier sont nombreux en Suisse ; ils sont sujets à de formidables débâcles lorsque le glacier, dans ses mouvements de va-et-vient, après avoir barré quelque vallon secondaire, livre tout à coup une issue aux eaux. Prévenir de pareils malheurs est pour l'ingénieur un redoutable problème. Comment lutter contre un glacier ? Quelle force naturelle opposer à cette masse sans cesse renouvelée par les hivers, qui use les rochers les plus durs, transporte les blocs les plus gigantesques et, d'un mouvement imperceptible, anéantirait les ouvrages d'art les plus résistants ? — Voici cependant deux exemples où il a suffi d'une idée pour vaincre le colosse inerte.

---

(1) P. 359, 360, 361.

Le glacier d'*Aletsch*, affluent du Rhône (Valais), barre une petite vallée latérale située derrière l'*Eggischhorn* et forme ainsi le lac de *Mœrjelen :*

« Ce lac, dit M. Agassiz, était autrefois plus étendu « qu'il ne l'est maintenant ; et, lorsque la fonte des « neiges et des glaces devenait très-forte, il arrivait « souvent que toute cette masse d'eau se frayait avec « violence une issue sous le glacier, et causait de grands « ravages dans le fond de la vallée. Pour obvier à cet « inconvénient, on a creusé, dans la direction du glacier « de *Viesch*, un écoulement artificiel à ce lac, qui ne « peut plus maintenant dépasser un certain niveau. La « glace ne repose pas immédiatement sur l'eau ; il y a, « au contraire, entre le fond du glacier et la surface de « l'eau, un espace de quelques centimètres occasionné « par la température du lac, qui est constamment au- « dessus de celle du glacier pendant l'été. A raison de ce « vide, il se détache souvent d'énormes blocs de glace, « qui flottent à la surface du lac et imitent parfaitement « les glaces flottantes des régions boréales (1). »

L'exemple le plus caractéristique est fourni par le glacier de *Giétroz :* la lutte entreprise contre lui est un véritable drame dont l'intérêt autorise quelques développements.

Au fond de la vallée de *Bagnes*, l'une des bran-

(1) *Agassiz : Études sur les glaciers.* — Passage rapporté dans le *Guide Joanne*, p. 440.

ches de la *Dranse*, à 16 kilomètres de Chables, s'élève verticalement une haute muraille de roches surmontée par le glacier de Giétroz. La masse mouvante s'avance, déborde la corniche et tombe au pied du précipice ; les fragments brisés s'agglutinent de nouveau et forment un glacier conique qui pousse devant lui sa moraine.

« Or, dans les années où les avalanches sont fort « abondantes, les chaleurs de l'été ne parviennent pas à « fondre une quantité de glace égale à celle qu'ont versée « les montagnes. L'énorme bloc qui forme un pont sur « la Dranse grossit donc toujours, et, comme l'arche « de ce pont, creusée en été par le torrent, se ferme en « hiver, il arriva, en 1597, et de nos jours (1818), que « les premiers mois du printemps ne suffirent pas à la « Dranse pour s'ouvrir un passage, et qu'elle se trouva « former un lac en arrière des glaces.

« Lorsque cette nouvelle fut connue, écrivait M. Simond « quelques mois après l'événement, l'alarme se répandit « aussitôt, non-seulement dans toute la vallée, mais dans « le Valais et jusqu'en Italie. Les voyageurs craignirent « de prendre la route du Simplon ; on sentait que, lors- « que cette digue viendrait à se rompre, il y aurait une « débâcle soudaine qui balayerait le pays à une grande « distance. L'hiver précédent ayant été rigoureux, les « glaces avaient déjà barré la vallée, mais sans arrêter « les eaux, qui s'étaient frayé un passage ; cependant « un deuxième hiver rigoureux avait produit une telle « chute de glace, que l'obstacle était devenu insurmon-

« table. Le gouvernement envoya un ingénieur (M. Ve-
« netz) ; il trouva que la digue avait 110 toises de lon-
« gueur d'une montagne à l'autre, 66 toises de hauteur
« et 500 d'épaisseur à sa base. Le lac avait 1.200 toises
« de longueur, 100 de largeur, et s'élevait déjà à peu
« près à la moitié de la hauteur de la digue, c'est-à-dire
« qu'il avait 30 ou 40 toises de profondeur. L'ingénieur
« s'arrêta au parti de percer une galerie dans l'épaisseur
« des glaces, commençant 54 pieds au-dessus du niveau
« actuel, pour se donner le temps d'achever le travail
« avant d'être atteint par la crue, qui était de 1 à 5 pieds
« par jour, suivant la température, et commença le
« 11 mai aux deux bouts de la galerie. Cinquante hom-
« mes, se relevant alternativement, y travaillaient jour et
« nuit au péril de leur vie, quelques-unes des avalanches,
« qui tombaient de moment en moment, menaçant de
« les enterrer tout vifs dans la galerie ; plusieurs furent
« blessés par des morceaux de glace ou eurent les pieds
« gelés, et la glace était si dure, qu'elle rompait souvent
« les pioches. Malgré toutes ces difficultés, le travail
« avançait rapidement. Le 27 mai, un gros morceau de
« la digue s'éleva du fond avec un fracas épouvanlable ;
« on crut qu'elle allait se soulever en entier, et les ouvriers
« s'enfuirent ; mais bientôt ils reprirent courageusement
« leur travail. Cet accident se renouvela ensuite plusieurs
« fois ; quelques-uns des morceaux flottants, à en juger
« par leur hauteur hors de l'eau, devaient avoir 70 pieds
« d'épaisseur sous l'eau. Le 4 juin, la galerie, longue
« de 608 pieds, se trouvait percée ; mais, comme elle
« avait 20 pieds de hauteur de plus dans le milieu, il
« fallait encore la niveler. Le temps avait été froid, et le

« lac ne se trouvait pas encore au niveau de la galerie ;
« de sorte que l'on continua à l'abaisser jusqu'au 13,
« jour où l'écoulement commença à dix heures du soir.
« Le lac s'éleva pourtant encore pendant quelques heures;
« mais le lendemain, à cinq heures du soir, il avait
« baissé de 1 pied ; le 15 au matin, de 10 pieds ; le 16
« au matin, de 30 pieds. A deux heures de ce jour, la
« longueur du lac était diminuée de 325 toises, car la
« galerie, continuellement rongée, s'abaissait aussi vite
« que le lac. La Dranse coulait à plein lit, mais sans
« déborder, et peu de jours auraient suffi pour épuiser
« l'immense réservoir.

« Cependant les détonations intérieures annonçaient
« que les glaçons se détachaient de la masse par leur
« légèreté spécifique, diminuant ainsi l'épaisseur de la
« digue du côté du lac, pendant que le courant, hors de
« la galerie, rongeait cette même digue du côté opposé,
« et menaçait d'une rupture soudaine ; le danger crois-
« sant, l'ingénieur faisait partir de temps à autre des
« exprès pour avertir les habitants de se tenir sur leurs
« gardes. L'eau commençait à se faire jour sous la glace,
« entraînant les pierres et le terrain à sa base sous la
« galerie : la crise paraissait inévitable et prochaine.
« A quatre heures et demie du soir, un éclat terrible
« annonce la rupture des glaces ; l'eau du lac s'élance
« avec une furie inexprimable ; elle forme un torrent
« de 100 pieds de hauteur qui parcourt les six premières
« lieues en quarante minutes, quoique retenu en plu-
« sieurs endroits dans des gorges étroites, enlevant dans
« son cours 130 chalets, toute une forêt et une immense

« quantité de terre et de pierres. Débouchant devant « *Chables*, chef-lieu de la vallée, l'eau poussait devant « elle comme une montagne mouvante de toutes sortes « de débris, haute de 300 pieds et d'où sortait une vapeur « noire et épaisse comme la fumée d'un incendie. Un « voyageur anglais, accompagné d'un jeune artiste, « M. P. de Lausanne, et de son guide, revenait de voir « les travaux et se dirigeait vers Chables ; se retournant « par hasard, il voit la colonne mouvante, dont le bruit « de la Dranse ne lui avait pas permis d'entendre le fracas « éloigné, s'avançant avec la plus effrayante rapidité. Il « pique des deux pour avertir ses compagnons, ainsi que « trois autres voyageurs qui les avaient joints ; tous sau- « tent à bas de leurs montures, gravissent la montagne et « arrivent en sûreté, hors de la portée du déluge qui rem- « plit dans un instant toute la gorge au-dessous d'eux ; « cependant M. P. ne se retrouvait plus ; pendant plu- « sieurs heures on le crut perdu, mais l'on sut ensuite « que sa mule ombrageuse, se détournant à la vue d'un « arbre renversé sur son chemin, aperçut tout à coup « un objet bien plus terrible près de l'atteindre, et que, « s'élançant à l'instant d'elle-même vers la montagne, « elle l'avait emporté loin du danger. De Chables, la dé- « bâcle arriva à Martigny (4 lieues) en 50 minutes, enle- « vant dans cet espace 35 maisons, 8 moulins, 95 granges, « mais seulement 9 personnes et peu de bétail, les habi- « tants étant sur leurs gardes. Le village de *Bovernier* « fut sauvé par une saillie de rocher qui détourna le tor- « rent ; on le vit passer comme un trait à côté du vil- « lage, sans le toucher, quoique beaucoup plus haut que « ses toits. Les rochers et les pierres furent déposés

« avant d'arriver à Martigny, frappant de stérilité de « vastes prairies et des champs fertiles. Ici il se divisa ; « mais 80 habitations de ce bourg furent emportées, « beaucoup d'autres endommagées, et les rues jonchées « d'arbres et de débris de terre ; 34 personnes seulement « paraissent y avoir perdu la vie, les habitants s'étant « retirés dans les montagnes. Au-dessous de Martigny, « la débâcle, trouvant une grande plaine, s'est étendue « et a déposé beaucoup de limon et de bois, au point « d'assainir, à ce qu'on espère, un grand marais. Le « Rhône l'a reçue peu à peu et sur divers points sans « déborder ; elle est arrivée au lac de Genève à onze « heures du soir, et s'est perdue dans sa vaste étendue, « ayant parcouru un espace de 18 lieues de Suisse en « six heures et demie, par un mouvement graduelle- « ment retardé. Tous les ponts ayant été enlevés, les « habitants des deux côtes de la Dranse ne purent cor- « respondre entre eux pendant plusieurs jours, et s'in- « former de leurs pertes mutuelles qu'en se jetant leurs « billets attachés à des pierres ; la boue fétide les menaça « d'une épidémie. Il est assez remarquable qu'un vieil- « lard de 92 ans s'est sauvé en montant sur un tertre « que l'on suppose avoir été formé par l'ancienne dé- « bâcle ; la nouvelle le suivit jusqu'au sommet où il se « maintint à l'aide d'un arbre qui ne fut point emporté.

« M. Escher évalue à huit cent millions de pieds cubes « la masse d'eau accumulée au moment où elle a com- « mencé à s'écouler par la galerie. Cette masse a été « réduite à cinq cent trente millions dans les trois jours « suivants, et le niveau du lac baissé de 45 pieds. Si

« la galerie n'eût pas été faite, le lac se serait élevé de « 50 pieds de plus, et la masse d'eau se serait trouvée « de dix-sept cent cinquante millions de pieds cubes au « moment où elle aurait commencé à passer par-dessus « la digue, au lieu de cinq cent trente millions auxquels « elle était réduite lorsqu'elle a commencé à passer à « travers la galerie, et aurait étendu ses ravages sur tout « le bas Valais (1). »

« — Lorsque, pendant l'hiver 1821-22, le barrage « de glace menaça de se reformer et eut déjà recouvert « 400 mètres du lit de la Dranse, M. Venetz entreprit « de détruire cette masse de glace, dont le profil en long « mesurait 22.300 mètres carrés.

« Il y réussit complétement à l'aide de canaux en bois « conduisant sur le glacier les filets d'eau de la montagne « Alia, échauffés au contact du rocher ; on obtint ainsi « de grandes coupures qui détachèrent des blocs de « 800 à 1.000 mètres cubes. En tombant, ils se bri- « sèrent en morceaux, et furent emportés par la Dranse.

« Après avoir détruit ce cône du glacier de 1822 à « 1824, M. Venetz entreprit des travaux devant em- « pêcher les glaces de s'amonceler de nouveau au fond « de la vallée. Il construisit de simples barrages en tra- « vers de la vallée et vis-à-vis du glacier. Leur cou- « ronnement est parfaitement droit et horizontal ; ils « produisent ainsi un si grand élargissement de la sur-

(1) *Guide Joanne*, p. 377 à 379.

« face de l'eau, que les glaces ne peuvent plus faire « voûte par-dessus. Les blocs de glace tombent donc « toujours dans l'eau, restent constamment en contact « avec elle et se fondent peu à peu. Ainsi, le ruisseau « ne pouvant plus être recouvert, les glaces ne peuvent « plus s'amonceler. Dès que le cône surplombe de 2 à « 3 mètres le ruisseau, qui a fondu sa base, la partie « antérieure se détache et est emportée. Ces glaces tom- « bent parfois au delà, et forment un petit glacier placé « au bord de la moraine, sur la rive gauche. Ces masses « persistent quelquefois assez longtemps, mais ne peu- « vent jamais complétemeut recouvrir le ruisseau.

« Dès lors, c'est-à-dire depuis 1826, ces barrages « ont suffi à empêcher les glaces de recouvrir la Dranse « et ainsi de barrer la vallée.

« En reconnaissant le grand mérite de ces ouvrages, « nous exprimons le vœu que les ingénieurs de ce « canton puissent toujours disposer des moyens néces- « saires à l'entretien de ces utiles constructions, ainsi « que pour en établir de pareilles dans d'autres vallées, « entre autres dans celles de Saas et de la Massa (1). »

Ces extraits du rapport de M. Culmann suffiront pour montrer l'intérêt que ce livre peut offrir aux ingénieurs qui ont affaire aux torrents.

La France et la Suisse ne sont pas les seuls pays où

(1) *Culmann*, p. 393, 394.

la lutte contre les eaux courantes est poursuivie avec des alternatives de victoires et d'insuccès, et l'on peut juger, par les livres que nous venons d'analyser et par de nombreuses publications du même genre, que le temps est encore loin où l'homme aura dompté, et, si l'on peut dire, *domestiqué* les eaux sauvages des montagnes. Il est cependant un heureux pays dont le tableau, contrastant avec de sombres peintures, peut être offert aux ingénieurs comme un modèle et un encouragement : c'est le *Harz* allemand.

Ce massif montagneux, presque isolé de toutes parts et naguère encore partagé entre quatre gouvernements, élève son plus haut sommet, le *Brocken*, à l'altitude de 1.250 mètres; les pentes rapides, les thalwegs profonds n'y manquent pas, non plus que les pluies abondantes, dont la tranche annuelle varie suivant l'altitude de 600 à 1.500 millimètres. Les terrains sont très-divers ; les éruptions granitiques ont disloqué des schistes de toutes sortes... Toutes les conditions sont réunies pour favoriser les phénomènes torrentiels ; mais l'industrie des mines, en quête de force motrice, s'est emparée des eaux, « force gratuite sans « cesse renouvelée par la nature. » On peut dire qu'il n'y a pas une seule goutte qui soit abandonnée à son cours naturel ; dès les plus hautes pentes, la pluie est recueillie dans des sillons formant gouttière ; tous les ravins sont barrés et de nombreux étangs emmagasinent leurs produits. Réunies dans les canaux, les eaux contournent les croupes, franchissent les vallons, s'enfoncent sous les contre-forts et, conduites à portée des usines, manœuvrent des roues hydrauliques placées au-dessous

l'une de l'autre à tous les degrés de la montagne ; parvenues au thalweg, les eaux ne sont pas libérées ; il leur faut encore descendre dans la mine et travailler sous terre.

Soixante-dix étangs de l'*Oberharz* ont une superficie de 240 hectares ; ils emmagasinent 15 millions de mètres cubes qui mettent en mouvement, à ciel ouvert, 180 roues hydrauliques, sous terre 23 roues et 2 machines à colonne d'eau.

« Il y a en tout 200 kilomètres de longueur de canaux, « tant pour amener les eaux aux étangs que pour les con- « duire de ceux-ci aux mines et aux usines.

« Depuis l'étang le plus élevé (*Hirschler Teich*) jus- « qu'au *Lautenthal*, il y a, pour les roues placées au- « dessus du sol, une chute totale de 292 mètres.

« Pour les mines, la chute disponible est encore plus « considérable : elle est d'environ 370 mètres. En effet, « les eaux qui ont sous terre communiqué le mouvement « aux pompes d'épuisement et aux autres machines, se « réunissent dans diverses galeries et principalement dans « le *Ernst-August-Stollen*, situé à environ 370 mètres « au-dessous des plateaux de *Clausthal*. Ce canal, où « l'on réunit toutes les eaux des nappes souterraines, va « les rejeter à ciel ouvert à *Gittelde ;* il n'a pas moins « de 23.600 mètres de longueur. Ses dimensions sont « assez grandes pour qu'on puisse faire en bateau ce long « trajet souterrain. Sa largeur est en effet de 1 ^{m},90 et sa

« hauteur de $2^{m},70$. Ce magnifique travail, terminé en « 1864, a coûté un peu plus de 3 millions de francs (1). »

Plusieurs de ces travaux datent du commencement du XVIIIe siècle ; il y a cent cinquante ans que le Harz allemand a domestiqué ses eaux courantes, il y a dix ans à peine que l'on s'occupe à combattre les torrents des Alpes françaises.

---

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1868, II, p. 307. *Belgrand* et *Lemoine*.

CHAPITRE XI.

L'ÈRE TORRENTIELLE.

Si le cadre de cette *étude* ne nous enfermait pas sur le terrain des observations pratiques, les *Torrents* fourniraient une ample matière à des recherches d'un véritable intérêt scientifique. Voici toutefois quelques considérations qui ne sont pas entièrement étrangères à notre objet actuel.

Les torrents de nos Alpes sont des pygmées à côté de ceux des régions tropicales. Dans ces régions on peut observer, sur des montagnes couvertes de neiges éternelles, le contact direct des climats extrêmes, de la zone glaciale et de la zone torride, et les phénomènes météorologiques en prennent une intensité plus grande. Les frères Schlagintweit, parlant de l'énergie extraordinaire des torrents de l'Himalaya, expriment l'opinion qu'ils ouvriront des débouchés à travers cette chaîne et qu'alors le vent du sud, pénétrant dans les vallées du versant nord, changera leur climat. Le voyageur Antoine d'Abbadie, qui faillit geler sous l'équateur en gravissant le

Wosho, montagne d'Abyssinie, élevée de 5.060 mètres, rapporte le tableau suivant (1) :

« Quelquefois, on marche en toute sécurité, sous un « ciel serein, lorsqu'un indigène, entendant au loin un « bruit étrange qui ne tarde pas à grandir, se met à « crier de toutes ses forces : « Le torrent ! » et grimpe, « en toute hâte, sur la hauteur la plus voisine. Trente « secondes après, le fond de la vallée disparaît sous une « large et profonde nappe d'eau qui entraîne avec elle « des arbres, des quartiers de rochers et même des « bêtes sauvages. Ces torrents, formés en un instant, « s'épuisent dans la même journée, et ne laissent, comme « traces de leur passage, que des débris de toutes sortes « et des flaques d'eaux bourbeuses, retenues çà et là « dans les anfractuosités...

« M. d'Abbadie raconte qu'un jour il arriva trop « tard pour contempler, dans toute sa grandeur, une de « ces inondations subites. Il ne trouva qu'un indigène « qui, d'un air hébété, regardait la terre humide. « Sois bien, lui dit le voyageur, quelles sont tes nou- « velles? Où sont tes armes? Un homme comme toi « peut-il rester sans lance ni bouclier? — Sois bien, « répondit l'Africain, reste en santé. Le torrent a em- « porté ma lance, mon bouclier, mon chameau et toute « ma fortune, ma femme et mes enfants. Malheur à « moi! Malheur à moi! »

Les géologues, justement frappés de la puissance des

(1) *Année scientifique*. 1868, p. 68, 69.

eaux de montagne, ont accordé aux torrents une place importante dans leurs théories; ils ont distingué la stratification torrentielle, c'est-à-dire celle où les galets, orientés suivant leur grand axe, sont déposés en nappes inclinées, et la stratification horizontale telle qu'elle a lieu dans le bassin d'un lac ou dans la mer; ils ont reconnu des cônes torrentiels antérieurs à la formation actuelle de nos vallées.

Réagissant contre les tendances officielles de l'École française, qui rattache les montagnes à des théories générales et asservit les différentes chaînes à suivre les arêtes des polygones de la géométrie sphérique, l'École anglaise a essayé de rendre compte de tous les phénomènes géologiques par l'action des eaux combinée avec quelques oscillations du sol. Sans s'engager dans cette discussion, et surtout sans s'astreindre à expliquer tous les phénomènes géologiques par un système unique et absolu, on peut admettre qu'à certains âges de la planète il s'est trouvé des conditions météorologiques plus favorables que les conditions actuelles au développement des torrents. Il y a eu peut-être un temps où la mer, tiède encore, obscurcissait l'atmosphère de vapeurs épaisses, alors que déjà quelques montagnes, élevant au-dessus des nuages leurs sommets chargés de glace, étaient incessamment battues par d'effroyables tempêtes. Que sont nos orages en comparaison des cataclysmes qui, peut-être, à chaque lever du soleil, assaillaient les côtes de la mer jurassique?

L'étude attentive des dépôts torrentiels jettera, sans

doute, quelque lumière sur la météorologie des époques correspondantes; déjà la science est entrée dans cette voie; mais les seuls résultats nettement acquis sont ceux qui se rattachent au dernier grand événement géologique, c'est-à-dire à la *période glaciaire*. Ces résultats méritent de nous arrêter, non pas seulement à titre de récréation scientifique, mais parce qu'ils conduisent à des aperçus pratiques qui intéressent l'hydrologie et l'agriculture.

Il n'est plus sérieusement contesté que, pour une cause jusqu'ici inconnue (1), la planète n'ait traversé une sorte d'hiver cosmique qui, d'un pôle à l'autre, a modifié les climats et permis aux glaciers de prendre une extension extraordinaire dans les hautes montagnes, ou même de se former sur les montagnes moins élevées qui n'en conservent plus aujourd'hui.

Lorsque le grand hiver a pris fin, les glaciers ont reculé vers leurs limites actuelles; rien n'autorise à croire que la fusion des glaces ait été subite; cependant, il paraît incontestable qu'elle a été assez rapide pour que la végétation forestière n'ait pu la suivre : ainsi, les glaces laissaient derrière elles des pentes sans verdure et des matériaux désagrégés, proie facile pour les eaux. Pour ne parler que de la France, il faut se figurer les Alpes et les Pyrénées et, en outre, certaines montagnes de l'Auvergne, du Jura et des Vosges livrées toutes nues aux violences des torrents. A la *Période glaciaire* a donc

(1) Voir ci-dessus, chap. II, p. 31 et 32.

succédé l'*Ère torrentielle*, ou, pour mieux dire, ces deux époques s'entremêlent et se confondent; la période glaciaire a eu des entr'actes; peut-être même s'est-elle reproduite suivant quelque loi astronomique. Pendant des siècles innombrables, les glaciers et les torrents se sont disputé les montagnes. — N'est-il pas digne d'intérêt d'évoquer quelques épisodes de cette longue lutte?

Pour procéder du connu à l'inconnu, commençons par analyser ce qui se passe aujourd'hui sous nos yeux.

Il existe entre le torrent et le glacier des relations qui ont frappé tous les observateurs : le premier est souvent issu de l'autre; il coule à la surface du glacier, gronde sourdement dans ses crevasses; il s'échappe en bouillonnant de la grotte azurée dont lui-même a creusé la voûte. L'un et l'autre sont les ouvriers commis par la nature au grand travail de l'érosion; leur procédé est identique et ressemble à celui des terrassiers : tour à tour attaquant la roche ou charriant le déblai, ils sont à la fois la pioche et le véhicule. Incessamment aidés dans leur tâche par l'action atmosphérique, leur force vive est inépuisable, car le soleil, comme une pompe gigantesque qui jamais ne s'arrête, aspire l'eau des mers et la précipite sur les montagnes.

Les analogies se poursuivent jusque dans leurs mouvements qui sont soumis aux mêmes lois : le glacier est véritablement un torrent solide; dans sa descente progressive on le voit tantôt s'étaler en nappe horizontale à l'amont de quelque barrage, tantôt se res-

serrer, se gonfler pour franchir une gorge étroite, puis se précipiter sur une pente rapide en vagues anguleuses séparées par de profondes crevasses. Le glacier est alors comparable à ces cascades dont le voile déchiré laisse apercevoir la sombre muraille des rochers.

La vitesse du courant glaciaire est plus grande à la surface que sur le fond, au milieu que sur les bords, dans la courbe concave que vers la rive convexe (1), et l'on sait que ces particularités se retrouvent sur tous les cours d'eau, depuis le plus humble ruisseau jusqu'au gigantesque Gulfstream, qui est un fleuve sans rivages.

Les glaciers ont leurs crues et leurs décrues; leur extrémité inférieure avance dans la vallée, ou recule, suivant que l'hiver ou l'été empiètent quelque peu l'un sur l'autre : ces oscillations embrassent plusieurs années. Dans la vallée de Chamouny, et depuis 1854, le glacier des Bossons a reculé de 332 mètres, celui du Tour de 520 mètres; en même temps leur niveau s'abaisse. Pendant cette période, la *Mer de glace* a perdu 25 mètres d'épaisseur (2).

Comme le torrent est d'autant plus redoutable que son *Bassin de réception* est plus large et mieux disposé pour concentrer, vers un étroit goulet, les eaux d'une vaste surface, de même, la puissance d'un glacier, la

---

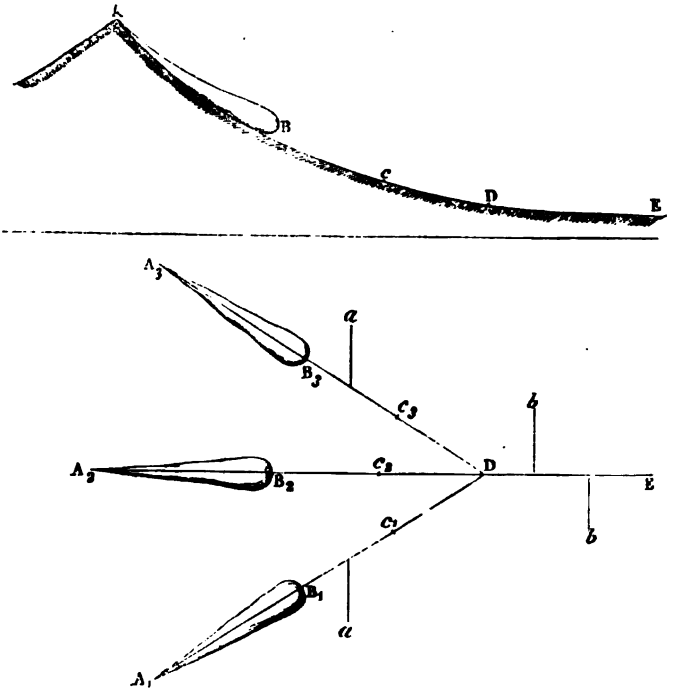
(1) Expériences de *Ch. Martins*, *Forbes* et *Tyndall*.

(2) *Ch. Martins.* — *Revue des Deux-Mondes.* — 15 janvier 1867, p. 429.

profondeur à laquelle il descend dans la vallée sont en relation avec l'étendue et la ramification du bassin qui l'alimente.

Cette influence de la ramification est si importante, qu'il faut l'établir par une démonstration géométrique.

Fig. 10. — Ramification des glaciers.



Soient A_1, A_2, A_3, trois sommets de montagne desquels descendent trois ravins égaux aboutissant à une gorge unique DE. Trois glaciers partis des points A s'arrêtent aux points B. Supposons que, par suite d'une altération du climat, les trois glaciers fassent simultanément un pas en avant jusqu'en C_1, C_2, C_3 : l'avancement

de chaque glacier ne dépendra que de l'altération climatérique dont cet avancement sera en quelque sorte la mesure. Mais supposons que l'augmentation du froid amène les trois glaciers à se réunir au point D et que la gorge DE, comme cela arrive souvent dans les montagnes, n'offre pas un débouché plus considérable que l'une de ses branches égales. La coulée de glace qui s'engagera dans le goulet DE sera trois fois plus épaisse que celle qui descendait, autrefois, par chacune des branches séparées ; elle sera plus épaisse encore si, la pente étant plus faible à l'aval du point D, le courant glaciaire marche plus lentement. Par suite de cette épaisseur plus grande, le glacier résistera plus longtemps à la chaleur estivale ; il faudra un climat plus chaud pour fondre son extrémité inférieure ; cette extrémité descendra donc plus bas. Ainsi, les rigueurs de l'hiver ayant amené le glacier en D, la convergence des vallées pourra faire descendre cette extrémité jusqu'en E.

Mais ce n'est pas tout : par suite de l'obstruction de la gorge DE, le bassin de réception qui est en amont du goulet D se remplira d'une nappe de neige, et la température moyenne sera encore abaissée dans ce bassin ; les ravins secondaires *a*,*a*, *b*,*b*, où jadis il ne se formait pas de glaciers, pourront se remplir de neige et fournir leur contingent à la coulée principale.

Il n'existe pas de vallée de montagne qui n'ait ses gorges secondaires ; on peut donc admettre la proposition suivante comme un des théorèmes fondamentaux de la théorie glaciaire : *Lorsqu'un glacier tend à s'ac-*

croître par la variation du climat, cet effet s'exagère par la ramification du bassin.

Inversement, lorsqu'un glacier recule, son mouvement sera d'autant plus rapide pour une même variation climatérique qu'il sera descendu plus bas; comme un ennemi dont la retraite, en cas d'échec, est plus prompte, s'il s'est avancé plus loin sur le territoire étranger.

Ces propositions peuvent encore s'exprimer ainsi : *Parmi les glaciers qui naissent vers la crête d'une même chaîne de montagne, à la même hauteur et sous le même climat, celui qui est alimenté par le bassin le plus étendu et le mieux ramifié descend le plus bas, et son extrémité présente les oscillations les plus considérables.*

Cette proposition nous fournira d'importantes conséquences; quiconque ferait difficulté de l'admettre pourra se convaincre, d'un coup d'œil, en contemplant, du col de la *Seigne* ou du sommet du *Cramont*, le revers méridional du Mont-Blanc. Dix ou douze glaciers se présentent en panorama : partis de la même crête, ils s'épanchent par les déchirures de la montagne; mais, tandis que les uns atteignent le fond de la vallée ou même la traversent, appuyant leur moraine contre la montagne opposée, d'autres restent suspendus à mi-hauteur, semblable à des cataractes pétrifiées; l'observateur reconnaît facilement que la coulée la plus puissante sort de la déchirure la plus profonde et la mieux ramifiée.

Le plus long glacier de la Suisse, celui d'*Aletsch*,

tributaire du Rhône, est alimenté par l'immense cirque de la *Jungfrau*. Ce glacier est célèbre par l'amplitude et la rapidité de ses oscillations. En septembre 1848, il a ravagé une forêt de sapins qui bordait sa rive gauche sur quatre kilomètres ; le désastre est raconté en ces termes par un témoin oculaire :

« Attaqué par les racines, l'arbre tombe et se trouve « entraîné par le glacier. Ceux qui sont pris entre la « glace et la roche encaissante sont promptement dé- « chirés; ceux qui tombent sur le glacier sont portés « par lui, mais ils ne tardent pas à être entraînés dans « l'intérieur. Au talus terminal, on les voit sortir de « dessous la masse, les uns à moitié engagés dans la « glace, d'autres complétement libres; ceux-ci sont « expulsés et précipités dans le torrent. Tous sont en- « tièrement dépouillés de leur écorce et déchirés ; il ne « reste que le tronc principal et les grosses branches « pliées et contournées. M. Collomb estime que les sa- « pins entraînés en septembre 1848 par le glacier « d'*Aletsch* étaient âgés de 200 ans (1). »

Les propositions ci-dessus étant ainsi bien établies fournissent immédiatement plusieurs conséquences :

A l'époque glaciaire, lorsque, dans le bassin du Rhône, les glaciers descendaient jusqu'à Lyon, à l'altitude de 160 mètres, leurs oscillations étaient, pour la même variation climatérique, beaucoup plus rapides qu'au-

(1) *Ch. Martins. Revue des Deux-Mondes*, 15 janvier 1867.

jourd'hui qu'ils atteignent à peine la cote 1.200 mètres (1); si les oscillations actuelles sont de quelques mètres en dix ans, elles pouvaient être alors de plusieurs kilomètres.

Seconde conséquence, étrangère à notre objet actuel, mais cependant intéressante : lorsque le glacier du Rhône descendait jusqu'à Lyon, le climat de cette partie du bassin était notablement plus chaud que le climat actuel de la vallée de Chamouny, car il fallait plus de chaleur pour fondre le puissant glacier d'alors que les glaciers rudimentaires d'aujourd'hui ; le bassin du Rhône était donc alors habitable jusqu'au bord du glacier comme la vallée de Chamouny l'est aujourd'hui (2).

Reprenons le parallèle entre le glacier et le torrent : arrivés dans la vallée, le torrent dépose son *cône* et le

---

(1) Cette cote est celle des quatre glaciers des Alpes qui descendent le plus bas : *Aletsch*, *Bosson*, *Grindelwald* et *Brenva* (*Ch. Martins*, *loc. cit*).

(2) D'après des renseignements dus à l'obligeance de M. *Ch. Martins*, la température moyenne annuelle. à l'époque actuelle, est : à Lyon, 11°,8 (*Bravais*) ; à Genève, 9°,16 (*Plantamour*) ; à Chamouny, 6°,1 (*Observations de M. Venance Payot sur les sources pérennes*). Ainsi, les moyennes annuelles de Lyon et de Chamouny diffèrent actuellement de 5°,7. Nous avons d'ailleurs reconnu que l'extrémité des glaciers du Rhône pénétrait, lors de la période glaciaire, dans une région plus chaude que celle où s'arrêtent les glaciers actuels; il résulte donc des chiffres ci-dessus la démonstration rigoureuse de cette proposition : *La température moyenne annuelle de la France, à l'époque glaciaire, était au plus de* 5°,7 *inférieure à la moyenne actuelle.*— M. *Ch. Martins* est arrivé par des considérations différentes à des conclusions analogues. Voyez *Du Spitzberg au Sahara*, p. 257.

glacier sa *moraine*. On sait comment on distingue ces deux sortes de déjections : celles du glacier sont caractérisées par des dépôts en forme de digues ou de barrages, formés de gros blocs, de cailloux rayés, de sable, de graviers, et suivis d'autres blocs transportés sans dommage à de grandes distances avec leurs arêtes vives, leurs angles aigus, leurs formes cristallines. Ces différentes sortes de blocs sont mêlées à de la boue glaciaire qui n'est autre que le résultat de l'usure des rochers qui servent de lit au glacier. Le courant glaciaire dépose pêle-mêle ces fragments grands ou petits, sans avoir égard à leurs dimensions.

Au contraire, les cours d'eau font un *triage;* ils déposent d'abord les plus gros matériaux, ensuite les plus petits dans un ordre décroissant qu'on exprime par ces mots *blocs, galets, graviers, sable* et *limon*. On sait que les eaux roulent ces fragments, les usent, les arrondissent, et l'on a remarqué qu'en chaque point d'un torrent, les plus gros fragments présentent, d'ordinaire, la sphéricité la plus parfaite (1). Bien que les cours d'eau opèrent, d'ordinaire, un *triage;* bien que, le plus souvent, ils ne déposent pas simultanément des galets ou du limon, des blocs et de la boue, cependant, lorsqu'un torrent procède par débâcles ou, suivant l'expression de M. Scipion Gras, par *transport en masse*, il dépose en même temps de l'argile délayée et des blocs anguleux de plusieurs mètres cubes. On voit par là que les seuls carac-

(1) *Philippe Breton.*

tères qui permettent avec certitude de distinguer l'action de l'un ou de l'autre agent sont les blocs ou cailloux *rayés* pour le glacier, les blocs *roulés* pour le torrent.

Lorsqu'un torrent est sujet à des débâcles résultant de l'épanchement subit d'un lac glaciaire, on doit s'attendre à rencontrer, à l'aval dans la vallée, des déjections torrentielles ou glaciaires confondues et très-difficiles à séparer. Nous avons rapporté, au chapitre précédent, l'exemple d'une débâcle occasionnée par le glacier de *Giétroz*; on en pourrait citer un très-grand nombre.

La *Viége*, par exemple, autre affluent du Rhône, a occasionné de semblables débâcles en 1626, 1630, 1733, 1740, 1752, 1755, 1764, 1766, 1798, 1808 et 1828, soit à peu près tous les vingt ans (1). Ces accidents ont eu pour conséquence le dépôt dans la vallée du Rhône d'un vaste cône torrentiel dont le sommet est au débouché de la gorge de la Viége et dont la base s'étend le long du Rhône lui-même. De pareils cônes existent dans la vallée principale, au débouché de toutes les gorges affluentes; on peut voir, soit d'un sommet de montagne, soit sur l'excellente carte de l'état-major suisse, le Rhône serpenter dans sa vallée, rejeté qu'il est tantôt à droite et tantôt à gauche par ces cônes vomis d'un côté ou de l'autre et sur lesquels les ingénieurs appuient leurs projets de rectifications.

Il est évident que la fréquence de ces débâcles gla-

(1) *Culmann. Rapport*, p. 382.

ciaires est en relation avec la disposition orographique. Reprenons la figure 10 ci-dessus, page 300 : ce sont les gorges latérales, telles que *aa*, *bb*, qui peuvent donner naissance à des lacs glaciaires ; la probabilité que de pareils lacs se formeront est d'autant plus grande que le glacier descend plus bas, c'est-à-dire qu'il barre un plus grand nombre de ravins secondaires. En outre, l'extrémité du glacier, par ses oscillations plus rapides, ouvrira et fermera plus souvent la bouche de quelque ravin et multipliera ces éclusées formidables.

Il existe un glacier qui démontre à lui seul toute la théorie qui précède : c'est le *Vernagt-ferner*, au sommet de la vallée d'*Oetz*, dans le Tyrol autrichien.

« Dans l'été de 1843, il se réunissait en s'avançant « au petit glacier de *Rofen*, dont il est aujourd'hui sé- « paré par un promontoire. Tous deux, formant une « seule masse, descendaient rapidement dans la vallée. « Les habitants s'effrayèrent ; ils savaient par la tradi- « tion qu'en 1600, 1667 et 1772 ce glacier avait mar- « ché avec la même rapidité et barré le cours d'un « ruisseau qui s'était transformé en lac : ce lac avait « ensuite rompu sa digue de glace et s'était précipité « dans la vallée en y causant de grands ravages. Les « autorités d'Inspruck, averties par la rumeur publique, « nommèrent une commission qui constata quelle était « la vitesse de progression du glacier. En 1842, elle « fut de 200 mètres en 67 jours, ou de $2^{m},98$ « par jour, puis elle se ralentit pendant les années « 1843 et 1844 ; mais dans l'été de 1845 elle

« était de 9m,92, par jour. C'était un véritable glisse-
« ment de la masse tout entière. L'eau s'ouvrit un
« passage sous la glace le 14 juin, et depuis cette
« époque jusqu'en juin 1848 le lac se remplissait
« et se vidait à peu près deux fois par an. Ce glacier
« a dû, comme tous les autres, entrer en 1854 dans sa
« période de retrait ; mais il n'est peut-être pas revenu
« à son état antérieur, car, après l'envahissement de
« 1667, il mit trente-quatre ans à rentrer dans ses
« limites habituelles (1). »

Résumons les propositions établies par ce qui précède :

1° *Lorsqu'un glacier tend à s'accroître par les variations du climat, cet effet s'exagère par la ramification du bassin.*

2° *Plus un glacier descend bas ou, ce qui revient au même, plus il s'allonge, plus les oscillations de son extrémité sont rapides, plus grande est la probabilité qu'il se formera des lacs glaciaires et que la partie inférieure de la vallée sera inondée par les débâcles de ces lacs.*

3° *Débâcles des lacs glaciaires, remaniement des moraines, transport en masse de leurs matériaux à des distances plus ou moins considérables, dépôt de ces matériaux sous forme de cônes torrentiels, telle est la série des phénomènes que l'époque actuelle nous présente encore, à la vérité dans des proportions restreintes.*

---

(1) *Ch. Martins, Revue des Deux-Mondes* (*loc. cit.*) p. 430.

Dans la suite du présent chapitre, ces dépôts, mélange de blocs, de galets et de boue où se révèlent simultanément l'action glaciaire et l'action torrentielle, seront désignés par le nom consacré de *Lœss*.

On comprend facilement qu'à l'époque glaciaire les mêmes phénomènes ont dû se reproduire sur une échelle infiniment plus grande. Le bassin du Rhône qui, par le fait seul de la Viége, a subi onze débâcles en 240 ans, était peut-être alors ravagé par cent débâcles annuelles, et quelles débâcles!

On sait que les principaux lacs de Suisse et d'Italie sont retenus à l'aval par une moraine qui barre la vallée; ils peuvent nous donner une idée des réservoirs qui, s'épanchant tout à coup, portaient jusqu'à la mer les déjections des torrents supérieurs, et dès lors on ne s'étonne plus de retrouver, jusque vers Nîmes ou Montpellier, les limites extrêmes d'un immense lit de déjection qui s'étend des Alpes aux Cévennes et sur lequel se sont déposés des galets arrachés aux plus hauts sommets des Alpes (1).

---

(1) La *Théorie glaciaire*, considérée comme un chapitre de la géologie, présente cette particularité que tous ses phénomènes, toutes ses circonstances peuvent être encore observés de nos jours. Il n'y a de différence que dans l'échelle de ces phénomènes, dont l'importance a diminué. — On a donc lieu de s'étonner qu'une théorie si simple, confirmée par tant de témoignages irrécusables, ait rencontré, à son début, des contradicteurs si difficiles à convaincre. Mais notre esprit est si routinier, si rebelle à la nouveauté, que son premier mouvement le porte à repousser non-seulement les découvertes qui supposent un ordre de choses différent de l'ordre actuel, mais encore celles qui changent quelque

Malgré les profonds ravinements qui ont eu lieu depuis le *Grand hiver*, plusieurs de ces anciens lacs glaciaires on laissé des traces irrécusables : les plus célèbres sont celles de *Glen-Roy* en Écosse.

« Sur presque toute la longueur de cette vallée, c'est-
« à-dire sur un parcours de 16 kilomètres, on peut
« suivre, sur les contre-forts, trois terrasses ou banquettes
« parallèles, rigoureusement horizontales et se corres-
« pondant parfaitement des deux côtés de la vallée. De
« loin, elles sont très-visibles; de près, on trouve une
« surface caillouteuse de 3 à 18 mètres de large et
« dont la pente est moins roide que celle de la mon-
« tagne qui la porte. La plus basse de ces terrasses est
« à 225 mètres au-dessus du niveau de la mer, la
« seconde à 63 mètres plus haut, la troisième à 25 mè-
« tres au-dessus de la seconde. Toutes aboutissent, au
« sommet de la vallée, au col qui la sépare de la sui-
« vante. »

« Aux yeux des montagnards écossais, ces terrasses

---

peu la mesure ordinaire. Quelques esprits éminents et savants répugnent encore à admettre la période glaciaire. Lorsqu'on les presse de formuler leurs objections, on s'aperçoit qu'ils n'en ont point sinon qu'on ne leur a pas enseigné ces choses lorsque leur esprit était encore jeune et ouvert. — Une idée nouvelle, scientifique ou politique, ne fait son chemin que lorsque, des hommes qui s'en sont faits les promoteurs, elle est passée à la génération suivante. Améliorer l'enseignement est donc le seul moyen de régénérer une société, et cependant combien petite a été jusqu'ici la place de l'enseignement dans les préoccupations des hommes d'État!

« étaient des routes de chasse tracées par Fingal pour « poursuivre plus aisément, avec ses compagnons, les « daims et les cerfs. Cette explication satisfaisait leur « imagination; les savants, qui en ont moins, ne s'en « contentèrent pas, et, successivement, le Dr Macculoch, « sir Thomas Lauderdick, Charles Darwin, mesurèrent, « nivelèrent et décrivirent ces terrasses, qu'ils dési- « gnaient sous le nom de *parallel roads*, routes paral- « lèles. Peines inutiles : aucune de leurs interprétations « n'était satisfaisante. Ces terrasses étaient évidemment « d'anciens rivages de lacs écoulés ; mais comment ex- « pliquer l'existence de ces niveaux successifs? L'ab- « sence totale de coquilles, l'intégrité de ces banquettes, « la présence de petits deltas bien dessinés, excluaient « l'idée qu'elles représentassent d'anciens rivages de la « mer formés aux époques de *subsidence* de l'Écosse et « émergés depuis.

« En 1840, Buckland et Agassiz visitèrent *Glen-Roy*, « et reconnurent que des barrages temporaires pouvaient « seuls rendre compte de ces singulières lignes de ni- « veau. Les glaciers venant successivement fermer l'une « ou l'autre issue de la vallée, le ruisseau qui la par- « court formait un lac qui s'écoulait par le col auquel « la terrasse aboutit. Agassiz reconnut les roches polies « et striées et les anciennes moraines qu'il avait appris « à distinguer dans les Alpes, et, depuis, M. Jamieson a « donné une carte et des détails confirmant complète- « ment les vues de l'illustre naturaliste suisse.

« M. Jamieson reporte la formation de ces terrasses

« à la fin de la seconde période glaciaire ; elle est due à « une oscillation des glaciers descendant du *Ben-Nevis* et « des montagnes environnantes. *Ces glaciers ont barré* « *tour à tour la vallée de Glen-Roy et les vallées voisines.* « *Les eaux, arrêtées dans leur écoulement, ont formé* « *des lacs à différents niveaux,* déterminés pour cha- « cun d'eux par la hauteur du col qui fermait l'extrémité « de la vallée opposée à celle barrée par le glacier. « L'intégrité des terrasses prouve aussi que depuis leur « formation l'Ecosse n'a jamais été immergée dans la « mer à la profondeur de 245 mètres, élévation actuelle « de la ligne inférieure au-dessus du niveau de l'At- « lantique (1). »

Cette vallée écossaise, barrée par le glacier et qui a conservé sur ses bords de vastes et larges terrasses, offre, sur une échelle agrandie et proportionnée à l'importance du grand hiver, les mêmes phénomènes que la vallée de Bagnes au fond de laquelle on voit encore, d'après M. Culmann, non plus les monumentales chaussées de Fingal, mais un sentier qui dessine les bords de l'ancien lac de Giétroz.

Si la théorie qui précède est exacte, il faut nous attendre à trouver, au débouché de chacune des grandes vallées des Pyrénées et des Alpes, des amas de *Lœss*

---

(1) M. *Ch. Martins*, *Revue des Deux-Mondes*. — 1er Mars 1861. — P. 202.

Sir *Ch. Lyell* a donné une vue et une carte des terrasses du *Glen-Roy ;* voyez *Antiquité de l'homme*. — Paris, Baillière. — 1864.

déposés suivant les formes caractéristiques des déjections torrentielles et dont les dimensions et la composition soient en rapport avec l'immense durée de la période glaciaire, ainsi qu'avec la grandeur des phénomènes auxquels elle a donné lieu.

C'est au pied des Pyrénées qu'existent les dépôts, sinon les plus considérables, du moins les plus nets. Elevons-nous sur quelque cîme telle que le *Pic-du-Midi* de Bigorre ou le *Cap* du col d'Aspin, dont l'ascension est très-facile; de ce point élevé, l'observateur tourné vers le nord promène librement son regard de l'ouest à l'est, sur une vaste plaine qui s'arrondit à l'horizon comme la mer et dont la couleur fauvè et pâle fait un violent contraste avec la muraille verte et sombre des Pyrénées.

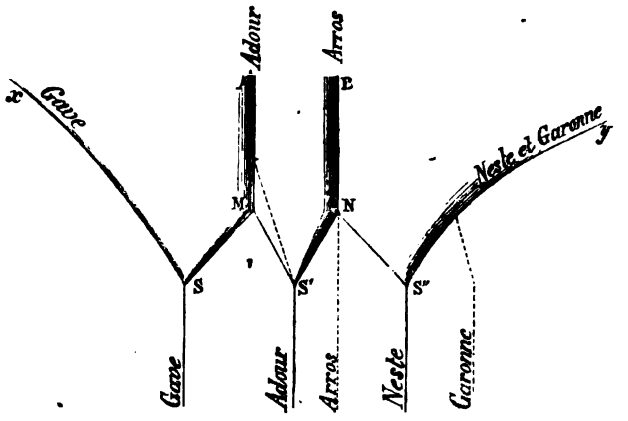
Cet effet général est assez bien rendu par la carte de l'État-major, sur laquelle on peut, en outre, reconnaître les moindres ondulations du terrain qui, pour l'observateur, s'aplatissent dans la perspective aérienne. D'après la carte, ce n'est pas une plaine unie qui s'étend aux pieds des montagnes, c'est une série de plateaux bombés ou cônes aplatis dont le sommet est à la gorge de chaque vallée importante.

Les deux feuilles n°s 240 (*St-Gaudens*) et 241 (*Tarbes*), de la carte de l'État-major, rapprochées l'une de l'autre, représentent, d'une manière saisissante, à quiconque a vu des torrents bien caractérisés, trois vastes cônes de déjection qui débouchent des vallées du *Gave*, à Lourdes, de l'*Adour*, à Bagnères-de-Bigorre, de la *Neste*, à Hèches.

Ces trois cônes se recouvrent partiellement ; ils *interfèrent*, ainsi que le représente la figure 11 ci-après dans laquelle les circonstances naturelles ont été réduites à une abstraction géométrique.

Ces interférences forment ainsi quatre dépressions

Fig. 11. — Cônes sous-pyrénéens.



latérales : deux extrêmes S*x* et S″*y* et deux intermédiaires MA et NB.

Le *Gave* de Lourdes est encaissé suivant S*x* ; l'*Echez* coule suivant SMA ; l'*Adour* s'est ouvert un passage oblique suivant l'arête S'K au bout de laquelle il a rencontré l'*Echez*. Les deux courants marchent, pendant quelques kilomètres, parallèlement suivant KA sans se confondre, se faisant l'un à l'autre office de satellite. Par cette disposition, ils ont ouvert la plaine de Tarbes. La *Neste*, débouchant en S″, se jette suivant S″*y*, où déjà s'est établie la Garonne. Quant à la dépression NB, elle est occupée par l'*Arros*, formé par la réunion de deux

affluents S'N et S''N qui recueillent, vers les points S' et S'', des eaux voisines de l'*Adour* et de la *Neste*.

Les trois cônes, si nettement dessinés sur la carte, sont sillonnés de nombreux cours d'eau qui divergent des sommets S, S', S''.

Parmi ceux qui dessinent le mieux les arêtes coniques, on peut citer sur le cône du *Gave* de Lourdes (car il y a quatre Gaves principaux) : le *Lagouin*, les deux *Ousse*, le *Luzan*, les deux *Luy*, le *Lis* et les quatre *Léez* : le *Gabas*, le *Larcis* et le *Larci*, le *Brousseau* et le *Bahus* ; le *Louet*, la *Géline*, le *Rieutord*, le *Mardaing*, etc...

Sur le cône de l'*Adour* on remarque l'*Echez*, la *Gespe*, l'*Adour*, l'*Ousse*, le *Lestèous*, les deux *Arret*, l'*Arrédou*, l'*Arriou-Darré* et le *La*.

Sur le cône de la *Neste* les arêtes sont dessinées par la *Lène*, le *Bouès*, le *Midour*, la *Riberette*, la *Douze*, qui tombent dans l'*Adour* ; la *Lauzoue*, la *Guirone*, l'*Osse*, les deux *Baïse*, la *Baïsolle*, la *Solle*, le *Gers*, l'*Arrats*, la *Gimone*, la *Gesse*, la *Save*, le *Touch*, la *Nère*, la *Louge*, la *Noue*, etc., qui portent leurs eaux à la Garonne (1).

---

(1) On remarquera la grande similitude de plusieurs de ces noms : elle est une conséquence du mode de formation de ces vallées qui font si visiblement partie d'un même système et présentent de telles analogies, que les premiers habitants ont eu de la peine à les distinguer.

Cette disposition des thalwegs permet de reconnaître les trois cônes à la seule inspection d'une carte hydrographique sans indication de relief.

On peut encore reconnaître les trois cônes sur la carte géologique de France : le lœss étant généralement teinté d'une couleur particulière, marquée (P) et désignée : ***Alluvions anciennes de la Bresse*** (***Voy.*** la carte jointe au présent volume).

On peut relever sur la carte de l'État-major les chiffres suivants qui caractérisent les trois cônes.

ÉLÉMENTS DES CONES.	GAVE.	ADOUR.	NESTE.
Altitude du sommet.	560 m.	697 m.	688 m.
Développement d'un arc de cercle décrit du sommet avec un rayon de 10 kilomètres. .	22 kil.	15 kil.	23 kil.
Altitude mesurée sur l'arc de cercle :			
1° Dans la vallée à gauche.	320 (Gave).	386 (Echez).	308 (Arros).
2° Sur l'arête culminante.	450	505	593
3° Dans la vallée à droite.	324 (Echez).	295 (Arros).	460 (Neste).
Saillie de l'arc au-dessus de la dépression la plus basse.	130 m.	210 m.	285 m.
Pente moyenne de l'arête médiane mesurée sur une longueur de 20 kilomètres à partir du sommet.	$\frac{560-395}{20.000}=0{,}0082$	$\frac{697-400}{20.000}=0{,}0148$	$\frac{688-487}{20.000}=0{,}0100$

L'épaisseur du *læss* est difficile à déterminer; elle est d'ailleurs très-variable : les inégalités des terrains plus anciens ont été nivelées par le *læss* dont la puissance atteint à certaines places plusieurs centaines de mètres, et qui se réduit ailleurs à un simple revêtement.

Si l'on ajoute que, partant de l'un des trois sommets S, S′, S″ et suivant une arête, on peut faire une marche de plus de cent kilomètres sans sortir du lœss, on s'explique que certains auteurs aient cru devoir recourir à un déluge ou à quelque cataclysme de ce genre pour expliquer la puissance de ces dépôts d'argile et de cailloux roulés. Cependant, il ne reste aujourd'hui que des lambeaux ou témoins de ces dépôts, car toutes les rivières ont, dans la suite des âges, élargi leurs vallées aux dépens du lœss.

Que ces cônes soient sortis de la gorge dont ils gardent l'entrée, un coup d'œil sur la carte suffit à le démontrer : l'examen des lieux ne laisse d'ailleurs aucun doute.

L'origine glaciaire de ces vastes dépôts n'est pas moins certaine. Dans chaque vallée on peut, depuis les moraines restées intactes jusqu'aux extrémités du cône, suivre pas à pas la marche des fragments rocheux qui, peu à peu, perdent leurs caractères glaciaires, s'arrondissent, diminuent de volume et se réduisent en gravier ordinaire et même en argile ou boue glaciaire.

Dans la vallée de l'Adour, par exemple, en face du village de Sainte-Marie, deux gorges se réunissent descendant, l'une du Tourmalet, l'autre du col d'Aspin. Entre les deux gorges et dominant le confluent, s'élève une terrasse ou chaussée dont le talus, vu de l'aval, rappelle par sa régularité un gigantesque remblai de chemin de fer. Si on contourne ce remblai en suivant la

route qui mène à Luchon, on découvre bientôt, sur le revers d'amont, un bois qui dissimule mal un amas confus de blocs énormes, et l'on reconnaît aussitôt une moraine, appelée *moraine de Grip*, telle qu'on peut en voir près d'un glacier des Alpes. En cet endroit pittoresque, l'Adour se fraie un passage parmi des blocs dont quelques-uns, par leurs formes et leurs dimensions, sont comparables à des maisons; le *Pic du Midi* et le *Pic d'Arbizon*, chacun au fond de l'une des deux gorges, contemplent du haut de leur pyramide azurée cette scène de désordre où leurs ruines gisent confondues.

A partir de ce point jusqu'à Bagnères, on peut suivre sur les deux bords de la vallée de Campan les traces du glacier : il rongeait plutôt la muraille verticale qui s'élève à droite, tandis que sur la gauche une série de terrasses marquent les différents niveaux des moraines et des alluvions torrentielles déposées le long du glacier.

A Bagnères même, on est encore en plein terrain glaciaire : des blocs demi-roulés dont le volume peut être comparé à celui d'un mouton ou d'un sac de blé gisent partout; ils encombrent le lit de l'Adour, forment des amas le long des chemins et entrent dans la construction des murailles. Vers le sommet du cône, c'est-à-dire sur les coteaux de la rive droite, ils sont très-nombreux et tout aussi gros que dans la vallée; mais, à partir de ce point, ils diminuent rapidement de volume suivant la même loi décroissante dans l'argile des coteaux et sur le plafond de la vallée : vingt kilomètres plus bas, à Tarbes, ils sont à peine gros comme une tête, et vers

Mont-de-Marsan on rencontre presque exclusivement de l'argile recouverte par le sable des Landes probablement amené par le vent.

Cette argile elle-même offre des alternatives de couleurs : elle est jaune d'ocre ou bleuâtre, et, près de Bagnères, on peut, dans les tranchées, reconnaître quelle sorte de pierre a fourni l'une ou l'autre couleur. En déterrant des blocs à tous les états de décomposition, on voit, si l'on peut dire, la fabrique d'argile en activité. A certaines places, la coupe du terrain présente une mosaïque où les cailloux granitiques, parfaitement reconnaissables à leurs contours arrondis, mais amollis par le temps, se laissent couper comme du beurre ou plutôt du nougat, chacun laissant encore reconnaître, malgré sa décomposition, la roche d'où il a été arraché.

Le cône du *Gave* donne lieu à des observations analogues; il est isolé de toutes parts; son sommet est, pour ainsi dire, en l'air. Le glacier qui l'a produit rencontrait à Lourdes, en sortant de la vallée d'Argelès, une petite montagne de schiste qui l'obligeait à se diviser : la branche orientale se dirigeait vers Tarbes jusqu'à *Adé;* l'autre branche descendait vers Pau jusqu'à *Saint-Pé.* Entre les deux branches, se déversait le *lœss;* de sorte que le sommet du cône glaciaire se trouve sur la montagne schisteuse, dans l'angle que formaient les deux branches du glacier. Lors de la retraite du glacier, toutes les eaux de la vallée d'Argelès s'étant réunies vers l'ouest, dans la branche de Saint-Pé, l'autre branche, celle d'Adé, forme aujourd'hui une vallée vide et sans rivière;

le chemin de fer s'y est établi de Tarbes à Lourdes, mais cette vallée, que n'occupe aucun cours d'eau notable, est pleine de témoignages torrentiels.

La vallée d'Argelès a été l'objet d'une étude spéciale de la part de MM. Ch. Martins et Collomb, explorateurs infatigables qui, après avoir habité sur les glaciers des Alpes, l'hôtel mouvant des Neuchatelois, ont recherché, *du Spitzberg au Sahara* (1), les traces ou les causes de la période glaciaire. Ces savants résument ainsi leur mémoire (2) :

« En résumé, nous constations, dans une des princi-
« pales vallées des Pyrénées, la vallée d'Argelès, l'exis-
« tence d'un ancien glacier d'une étendue de 53 kilo-
« mètres : il venait étaler ses moraines terminales dans
« la plaine ondulée sous-pyrénéenne et s'avançait jus-
« qu'à 15 kilomètres de Tarbes, à l'altitude de 400 mè-
« tres ; son point de départ était à l'altitude moyenne
« de 3.000 mètres environ ; la pente moyenne de sa
« surface était de 0.039.

« Ce glacier, y compris ses affluents et ses névés
« supérieurs, en un mot son bassin hydrographique,
« couvrait une surface d'environ 1.400 kilomètres carrés
« ou 140.000 hectares.

---

(1) Voyez *Du Spitzberg au Sahara*, le très-intéressant ouvrage de M. *Charles Martins* (Paris, Baillière et fils, 1866).

(2) *Société géologique de France*, *Bulletin*, 2e série, t. XXV, p. 141, séance du 18 novembre 1867 et *Mém. de l'Académie des sciences de Montpellier*, t. VII, p. 47.

« L'épaisseur du glacier atteignait, à Gèdres, 850 mè-
« tres; à Saint-Sauveur, 800 mètres; à Pierrefite,
« 675 mètres; à Argelès, 600 mètres; au pic de Jer,
« près de Lourdes, 412 mètres.

Le sommet du Béout, montagne conique, qui s'élève en amont de Lourdes, au milieu de la vallée à la cote 792, était recouvert par le glacier, et, de la gare même de Lourdes, on voit distinctement les blocs erratiques disséminés sur cette cime se profiler dans l'azur du ciel, à 450 mètres au-dessus du Gave.

Dans la tranchée d'où l'on a tiré le remblai de la gare, on a retrouvé, avec leurs fossiles caractéristiques, des calcaires charriés sans dommage depuis le cirque de Gavarnie, et, côte à côte, des blocs arrachés aux sommets granitiques de Cauterets. Les savants explorateurs ont joint à leur mémoire un profil en long du glacier et une carte de la moraine terminale.

« En étudiant les traces que le glacier a laissées sur
« le sol, nous avons vu qu'il se comportait comme tous
« les glaciers connus ; il transportait des matériaux d'un
« fort volume et en même temps des menus débris que
« nous trouvons sous forme de moraines, exactement à
« la place qui leur est assignée par les lois acceptées du
« mouvement de translation des glaciers, et en affec-
« tant une disposition qui exclut tous les autres modes
« de transports naturels.

« En même temps que ce glacier a usé, buriné les

« roches résistantes avec lesquelles il s'est trouvé en « contact » (et l'on doit admettre, d'après les épaisseurs données ci-dessus, que le frottement du glacier sur le terrain s'exerçait avec une pression approchant de 1.000 tonnes par mètre carré, laquelle prolongée pendant quelques centaines de siècles suffirait à rendre compte de l'érosion d'une vallée profonde de plusieurs centaines de mètres) « puis, en troisième lieu, les boues produites « par ce frottement continu de la glace contre la roche, « expulsées ensuite par les eaux de fonte et les torrents « glaciaires, ont contribué à former la matière première « de ce *lœss* qui couvre au loin la plaine bien au-delà « du périmètre de l'ancien glacier. »

On pourrait, s'il ne fallait pas éviter les redites, donner des preuves tout aussi démonstratives pour le cône de la *Neste*, qui forme le *plateau de Lannemezan*. Ce plateau est un vaste dépôt de lœss sorti des vallées de la Neste et de la Garonne ; mais, circonstance remarquable, la moins importante des deux vallées, celle de la Neste, a fourni les déjections les plus élevées ; son cône a partiellement recouvert celui de la Garonne et le fleuve a été détourné par son affluent. Tous les contours bizarres de la Garonne, de Saint-Bertrand de Comminges à Montréjeau, s'expliquent très-bien, sur place, par des moraines très-caractérisées que le chemin de fer de Luchon met à jour.

Moins heureusement ramifiées, descendant de sommets moins élevés, les autres vallées des Pyrénées, celles par exemple de la *Nivelle*, de la *Nive*, de la *Joyeuse*;

celles des *Gaves* de *Mauléon*, d'*Aspe* et d'*Ossau;* celle surtout de l'*Ariége*, ont eu cependant leurs glaciers et leurs débâcles torrentielles proportionnées aux circonstances locales.

Un voyage de quelques heures permet de vérifier, de la portière même du wagon, la plupart des observations qui précèdent. Dès la gare d'Hendaye, qui touche à l'Océan, on peut apercevoir, sur les rochers voisins, le manteau de lœss et les cailloux torrentiels. Dans les tranchées vers Biarritz et Bayonne, le banc de gravier est très-distinct et, par places, très-puissant.

Depuis Peyrehorade jusqu'à Pau, le chemin de fer suit presque constamment le pied d'une terrasse dont le talus offre souvent une régularité remarquable. C'est la base du cône élevé sur l'étage tertiaire par le *Gave de Lourdes*, le plus occidental des trois cônes que nous avons reconnus ci dessus. La ville de Pau est bâtie sur le bord de cette terrasse. De la place Royale on domine, d'une trentaine de mètres, la vallée du Gave: en face, sur la rive gauche, les coteaux ondulés de Jurançon sont un reste des dépôts glaciaires du *Gave d'Ossau;* sur la rive droite, vers l'est, jusqu'aux montagnes, s'étend, en raccourci, la vallée coupée au premier plan, par une petite chaîne de coteaux que couronnent des villas et des pins parasols: ce sont des *témoins* de l'érosion du Gave, lorsqu'il a ouvert sa vallée dans ses propres dépôts. L'horizon est borné vers le nord-est par la ligne droite et régulièrement inclinée qui est l'arête culminante du cône de Lourdes. De Pau à Naÿ, la plaine est semée de cailloux roulés.

De Naÿ à Saint-Pé, les terrains montrent tantôt la roche en place recouverte de *lœss* avec cailloux glaciaires, tantôt des terrasses creusées par le Gave dans ses propres dépôts de l'ère torrentielle. Après Saint-Pé, apparaissent les blocs morainiques qu'on ne perd presque plus de vue jusqu'à Lourdes; les intervalles entre les moraines sont remplies de cailloux roulés par les torrents. Lourdes est le point culminant du chemin de fer correspondant à la fois au sommet de l'angle que formaient autrefois les deux branches du glacier et au sommet du cône glaciaire; ce dernier sommet se trouve sur les coteaux qui s'élèvent à la gauche de la gare; le *Béout* avec ses blocs erratiques mentionnés ci-dessus se dresse sur la droite et ferme en partie la vallée d'Argelès.

A partir de Lourdes, la voie descend vers Tarbes par la vallée sans rivière dont il a été parlé plus haut. De Lourdes à Adé, MM. Martins et Collomb ont compté, dans les tranchées du chemin de fer, sept moraines distinctes partiellement enfouies sous le lœss argileux et les dépôts torrentiels.

On voyage quelque temps entre les deux cônes du *Gave* et de l'*Adour*, mais, bientôt, la plaine s'élargit par suite de l'érosion de deux cours d'eau parallèles. L'*Echez*, assez loin sur la droite, ronge encore un lambeau du cône de l'Adour, tandis que sur la gauche, le *Mardaing* attaque le cône du Gave dont on peut observer, après avoir dépassé la station d'Ossun, la belle arête régulière. En approchant de Jullian, le chemin de fer s'encaisse en tranchée pour descendre une terrasse creusée par l'Échez dans les

déjections de cet ancien torrent qui naissait, vers Adé, de la branche orientale du glacier. La force de ce torrent disparu est reconnaissable encore à la dimension des blocs qu'il a roulés et répandus dans la plaine.

De Tarbes à Tournay, les souterrains et les tranchées sont creusés sous le lœss de l'Adour; on traverse plusieurs vallées ouvertes, ainsi que nous l'avons remarqué ci-dessus, suivant les arêtes du cône. Les rails franchissent, à Tournay, l'*Arros* qui coule entre les déjections glaciaires de l'Adour et celles de la Neste (1), et s'élèvent sur le cône de la Neste par une rampe de 32 millièmes tracée dans le vallon de la *Lène*.

A Capvern, on débouche sur le *plateau de Lannemezan;* le regard s'étend sur une plaine unie, aux contours indécis, qui est bornée, au sud, par l'amphithéâtre monumental des Pyrénées et qui, vers le nord, s'affaisse et fuit à l'horizon. On est alors à l'aval du déversoir par où le lœss s'est épanché, et le regard pénètre un moment dans la vallée de la *Neste*, d'où le glacier l'a dégorgé.

Le point culminant est près de la station de Lannemezan; c'est là, près de ce faîte, et comme il convient au caractère torrentiel du phénomène, que l'on rencontre les cailloux les plus gros qu'on ait vus de-

(1) L'*Arros* coule à un niveau très-inférieur à celui de l'*Adour*. (Voyez ci-après, note de la page 329, l'explication de cette circonstance.)

puis Tarbes; quelques-uns dépassent la grosseur d'une tête de cheval; il faut redescendre jusque vers Montréjeau pour retrouver, dans une moraine mise à jour par la tranchée, des blocs de grosseur comparable à ceux de l'arête culminante.

De Montréjeau à Toulouse, et particulièrement dans la plaine de Muret, l'horizon est limité vers la gauche du voyageur par l'arête régulière du cône de la Neste. Les coteaux sont découpés en terrasses qui diminuent d'importance à mesure qu'on s'éloigne du sommet du cône. Montréjeau et Saint-Gaudens sont bâtis sur le bord d'un haut talus de blocs roulés, dont les derniers degrés sont encore reconnaissables à la porte de Toulouse.

Si, quittant la ligne principale à Portet-Saint-Simon, on remonte la vallée de l'Ariége, on ne tarde pas à retrouver d'irrévocables témoignages de l'*ère torrentielle*. Aux environs de Pamiers, la plaine est entièrement recouverte de blocs parfaitement arrondis que les cultivateurs ont réunis en *clapiers*, tout autour des parcelles cultivables : on se croirait sur le cône récemment défriché d'un torrent de l'Embrunais. Ces blocs grossissent à mesure qu'on remonte, et, dans la station même de Foix, on peut admirer, dans le jardin du chef de gare, de très-beaux échantillons de blocs glaciaires, rayés et frottés. La moraine terminale était dans ces parages, et l'étude détaillée des environs permet de supposer qu'à l'époque glaciaire, le joli bassin elliptique, au fond duquel coule le *Larget* qui tombe à Foix même dans l'Ariége, s'est plusieurs fois rempli et vidé,

formant un lac important et des chasses formidables (1).

On peut voir sur la carte de l'état-major (*feuille* 242, *Pamiers*) les déjections torrentielles sorties, comme une coulée de lave, de la gorge de l'Ariége et répandues dans la plaine, sous la forme d'un cône allongé ; elles ont repoussé vers l'extrémité droite de la plaine, la rivière de l'*Hers*, qui débouche non loin de là et dont la vallée moins importante n'a pas donné lieu aux mêmes phénomènes glaciaires et torrentiels. L'*Ariége* s'est encaissée dans ses déjections vers l'extrême gauche de la plaine ; elle a, dans la suite des temps, opéré le *triage* des matériaux dont la théorie est rappelée ci-dessus au chapitre X (page 255) : les galets ont été entraînés, les gros blocs sont restés ; ils forment, dans le lit, un *enrochement spontané* qui a limité l'approfondissement. Par suite, si l'on fait une coupe en travers dans la plaine de Pamiers, perpendiculairement aux deux rivières, on trouve que l'Ariége coule à un niveau supérieur à celui de l'Hers. On a, par exemple, les cotes suivantes qui se font face, d'un bord à l'autre de la plaine (2) :

---

(1) Voyez *Carte de l'état-major*, feuille 253. La ville de Foix et son pittoresque château, semblable à une porte d'écluse, ferment l'étroite gorge par où débouche le *Larget* ; mais, en arrière de cette porte, le bassin s'ouvre et se ramifie largement : ce bassin, fermé par une écluse vers l'extrémité du glacier, était dans des conditions exceptionnellement favorables à la production d'un lac et de débâcles.

(2) *Carte de l'état-major*, feuille 242, Pamiers.

Près de l'Ariége, à Varilhes. .	326	Près de l'Hers, à Rieucros. . . .	270
Id. à Pamiers. .	272	Id. à Saint-Amadou.	258
Id. au Vernet. . .	239	Id. à Belpech.	235

Les mêmes circonstances se reproduisent, entre la Garonne et le Tarn, dans la plaine de Montauban : la Garonne, pendant l'ère torrentielle, a entraîné jusque dans cette plaine un immense dépôt de cailloux roulés ; le Tarn a été refoulé à l'extrême droite de la plaine, tandis que la Garonne a ouvert sa vallée actuelle en s'encaissant vers la gauche. Les deux cours d'eau marchent parallèlement aux deux bords de la plaine, sur une longueur de quarante kilomètres, la Garonne se tenant à un niveau supérieur à celui de son affluent.

On a, par exemple, les cotes suivantes (1) :

Près de la Garonne, à Grenade.	103	Près du Tarn, à Villemur . . .	79
Id. à Verdun.	89	Id. à Labastide. . . .	77
Id. à Escatalens.	72	Id. à Barry.	68

La différence, comme cela doit être, diminue à mesure que l'on approche du confluent (2).

---

(1) *Carte de l'état-major*, feuille 218, Montauban.

(2) La même explication rend compte du niveau supérieur de l'*Adour* par rapport à son affluent parallèle l'*Arros*. (Voyez ci-dessus la note de la page 326). A Tarbes, l'Adour coule à la cote 300 tandis que l'Arros, à Tournay, est à la cote 260. Cependant, ces deux vallées sont ouvertes par érosion à travers le lœss, et l'on peut, au premier abord, s'étonner que l'Arros, rivière très-secondaire et qui n'a dans les Pyrénées qu'un bassin insignifiant, se soit plus profondément encaissée que l'Adour qui reçoit les eaux de plusieurs hautes montagnes. Mais on se rend compte facilement de cette anomalie.

L'Arros, établi dans la dépression formé par l'interférence des cônes glaciaires de la Neste et de l'Adour (ligne NB de la fig. 11, page 314), n'a eu à déblayer que leurs déjections secondaires.

Il existe, entre ces deux plaines de Pamiers et de Montauban, des analogies dont il est impossible de ne pas être frappé lorsqu'on les compare sur la carte après avoir examiné les lieux. Si, ensuite, on étudie les circonstances d'autres vallées analogues, on reconnait que plusieurs de ces analogies se reproduisent si fréquemment qu'elles prennent le caractère de véritables lois; mais ce n'est pas ici le lieu d'entrer dans ces détails étrangers à notre sujet (1).

Au pied des Alpes, dans les bassins du Pô, du Danube, du Rhin, du Rhône, l'ère torrentielle a laissé des témoins proportionnés à la grandeur de ces montagnes. Passons rapidement en revue quelques alluvions glaciaires du bassin du Rhône.

La région de la Durance, cette terre classique des torrents, est tout encombrée de moraines remaniées; le glacier descendait jusqu'à Chateau-Arnoux à 16 ki-

---

L'Arros, d'ailleurs, sortant d'un ravin peu important, n'a eu ni grands glaciers ni fortes débâcles glaciaires; il n'a pas encombré sa vallée.

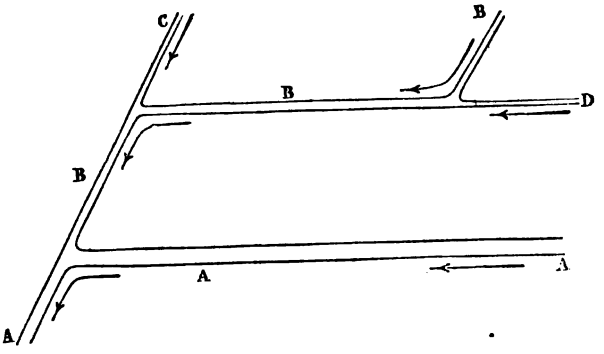
L'Adour, au contraire, pendant et après l'ère torrentielle, a creusé sa vallée, presque en droite ligne, au milieu de ses déjections glaciaires: d'accord avec l'Échez, il a, par ses divagations, ouvert la plaine de Tarbes; il a opéré le *triage* des galets; mais il s'est trouvé arrêté par *l'enrochement spontané*. On voit, en effet, depuis Bagnères jusqu'au delà d'Aire, la plaine de Tarbes semée de cailloux roulés dont les dimensions, décroissantes à partir des montagnes, restent cependant de beaucoup supérieures à celles du gravier actuel de l'Adour.

(1) En ce qui concerne plus spécialement la plaine de Pamiers et celle de Montauban, on peut remarquer que, si l'on fait abstraction de l'orientation, la même figure théorique rend compte

lomètres en aval de Sistéron (1). Un grand nombre de torrents actuels ont emprunté les matériaux de leurs cônes à d'anciens détritus glaciaires, et plusieurs d'entre eux, malgré leur violence, ont été impuissants à remuer les plus gros blocs erratiques, autrefois enfouis dans les moraines et maintenant mis à jour par le triage. Ces blocs colossaux qui encombrent certains lits ont souvent une provenance éloignée, et, jusqu'à la découverte de la période glaciaire, on a pu s'extasier sur l'étonnante énergie du torrent qui, dans sa jeunesse, a remué de pareils blocs. On oubliait de remarquer que ces blocs sont formés de roches qui n'existent pas dans le bassin du torrent et que, par conséquent,

---

de la disposition des cours d'eau qui débouchent dans ces deux plaines. Suivant qu'on se place dans la plaine de Montauban ou



dans celle de Pamiers,

A représente la Garonne ou l'Ariége;
B — le Tarn ou l'Hers;
C — l'Aveyron ou la Vixiége;
D — l'Agout ou la Douctouire.

(Voyez la carte jointe au présent volume.)

(1) *Du Spitzberg au Sahara*, p. 437.

les eaux n'ont pu les faire descendre de la montagne. De nombreux erratiques des environs de Gap proviennent des montagnes du Champsaur ; ils ont dû franchir la vallée du Drac et passer par-dessus la chaîne qui sépare cette vallée de celle de la Durance.

La Durance a eu ses débâcles glaciaires : « Ce sont « les matériaux accumulés dans les moraines et les « terrasses de la vallée qui ont fourni les innom- « brables cailloux qui recouvrent la Crau ; à cette « époque, la Durance se jetait, non pas dans le Rhône, « mais directement à la mer ; elle traversait le *Pertuis* « *de Lamanon*, près de Salon, et la Crau n'est qu'un « immense cône de déjection comme ceux dont Surell « a si bien décrit le mode de formation (1). »

Le cône de la Crau est parfaitement dessiné dans la carte de l'état-major (*feuille* 234.) Il forme un vaste triangle dont la base s'étend le long du Rhône et dont les côtés partant du sommet du cône, vers Lamanon, sont occupés par les deux branches du canal de Craponne. Le canal des *Alpines* occupe l'arête médiane ou culminante.

La carte donne les éléments suivants :

Longueur de la base.	25.000^m
Longueur de l'arête médiane.	30.000^m
Pente à partir du sommet. . . .	$\frac{107^m - 58^m}{12.800} = 0{,}0039$

(1) *Ch. Martins*, *Revue des Deux-Mondes*. 1er février 1867, p. 603.

Passons à la vallée de l'Isère (1) : les déjections torrentielles qui en sont sorties forment un vaste cône profondément raviné et partiellement détruit, dont le sommet s'appuie, au nord de Voiron, contre le massif jurassique de la Grande Chartreuse, et dont le périmètre, dessiné par le cours du *Guiers*, du *Rhône* et de l'*Isère*, passe à Pont-de-Beauvoisin, Lyon, Vienne, Saint-Vallier et Voreppe.

Ce plateau est coupé, du nord au sud, par le Rhône qui forme sa limite occidentale. La berge résultant de cette coupure se relève de Lyon à Vienne et s'abaisse de Vienne à Saint-Vallier, c'est-à-dire que l'arête médiane est aussi l'arête culminante, trait caractéristique des cônes torrentiels. M. Scipion Gras estime à 600 mètres environ l'épaisseur du lœss près du sommet (2); il donne pour le cône les éléments suivants :

Sommet du cône, altitude.	900m
Rayon.	70 à 75km
Pente sur la ligne de faîte vers le nord-ouest jusqu'à Lyon.	0,0079
Pente vers l'ouest jusqu'au Rhône, près de Jardin. .	0,0084
Pente vers le sud-ouest, près de Saint-Vallier. . . .	0,0085

Plusieurs cours d'eau divergents travaillent à l'érosion du cône de l'Isère : l'*Herbasse* tombe au sud-ouest devant Tournon; la *Galaure* et le *Dolon* vont à l'ouest vers Saint-Vallier et Saint-Rambert. On trouve ensuite, en remontant vers le nord et l'est, la *Sonne*, la *Varèze*,

(1) Voyez la carte jointe au présent volume.
(2) *Bulletin de la Société géologique*, tome XIV.

puis la *Gèze*, qui tombe à Vienne ; le *Bourbu* dont le nom est significatif ; le ruisseau d'*Ainan*, etc.; le *Guiers*, primitivement établi dans l'interférence du cône et des montagnes, marque l'extrême limite est du cône de l'Isère.

Les voies de communication ont dû se conformer à la disposition des vallées ; la carte montre, par exemple, trois branches de chemins de fer qui divergent du sommet du cône et tendent l'une à Valence, l'autre à Saint-Rambert, la troisième à Lyon.

La carte géologique indique par sa teinte caractéristique (*alluvions anciennes*) ce qui reste aujourd'hui de l'ancien cône de l'Isère : on voit qu'il est largement éventré suivant son arête médiane, c'est-à-dire de l'est à l'ouest, par une tranchée dont la largeur est de 8 kilomètres, la longueur de 80 kilomètres, et la profondeur près du Rhône de 120 mètres. C'est la vallée sans rivière qui, de *La-Côte-Saint-André*, s'étend à Saint-Rambert.

La carte géologique signale cette vallée par la même teinte verte (*alluvion moderne*) que l'on retrouve sur la Crau, sur les plaines de Montauban, de Pamiers, de Muret, sur la vallée sans rivière qui s'étend de Lourdes à Tarbes et même sur le plateau au bord duquel est bâtie la ville de Pau. Lorsqu'on visite ces plaines, on est frappé de leur ressemblance : ce sont toujours les mêmes cailloux roulés ; toutes, en effet, ont la même origine. La vallée de Saint-Rambert a été

ouverte par les torrents qu'alimentait une branche du glacier de l'Isère, comme celle de Lourdes à Tarbes par une branche du glacier du Gave. Lorsque le glacier s'est retiré, la vallée est restée vide, les eaux s'étant réunies et encaissées dans la vallée ouverte par une autre branche.

Après avoir ainsi reconnu les restes du lœss de l'Isère, on devrait s'attendre à trouver des restes plus considérables encore au débouché du Rhône. Il n'en est rien cependant: le cône de l'Isère est beaucoup plus développé que celui du Rhône, de même que celui de la Neste a surmonté et recouvert celui de la Garonne. Les mêmes effets résultent de la même cause, et cette cause se reconnaît facilement lorsque, se plaçant à une certaine distance des montagnes, on examine la forme du débouché de la Neste et de l'Isère, d'une part, de la Garonne et du Rhône, de l'autre. Les deux rivières débouchent par des vallées très-étroites où le glacier resserré a dû s'élever très-haut; les deux fleuves ont des débouchés relativement plus larges ; par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, leurs glaciers avaient une épaisseur moindre.

Si, par exemple, l'on mesure sur la carte, la largeur de la vallée à l'altitude 700 mètres, on trouve :

Au débouché de la Neste (*parallèle de Hèches*), 2.000 mètres ;

Au débouché de la Garonne (*parallèle de Tibiran*), 6.700 mètres.

Au débouché de l'Isère, la largeur de la vallée mesurée à la cote 700 mètres n'est que de 4 kilomètres. La carte de l'état-major ne permet pas de mesurer pareillement le débouché du Rhône (1), mais la vue des lieux ne permet guère de contester l'explication ci-dessus.

La formation du cône dépend aussi de la disposition du glacier; lorsque, au débouché des montagnes, le glacier faisait un coude brusque, comme c'était le cas pour le Gave, la Neste et l'Isère, les débâcles courant en ligne droite se déversaient dans le prolongement de la vallée, c'est-à-dire qu'elles se déposaient sur le côté du glacier: elles y formaient un cône *latéral* ayant son sommet vers le coude du glacier. Ces dépôts latéraux, n'ayant pu être entraînés plus tard par les eaux sortant du glacier, puisque l'extrémité du glacier était détournée, se sont conservés jusqu'à nous. Au contraire, pour l'Adour, dont le glacier débouchait en ligne droite ou à peu près, les matériaux transportés par les débâcles tombaient en avant du glacier et, par suite, elles étaient emportées par les eaux de fonte : c'est pourquoi le lœss de l'Adour ne forme que deux lambeaux allongés de chaque côté de sa vallée (2).

Pour le Rhône enfin, il faut considérer que ce glacier,

(1) La feuille n° 169, gravée avant l'annexion de la Savoie, ne figure pas l'orographie de la rive gauche du Rhône.

(2) C'est parce que la Durance se détournant vers la droite n'a pas établi son cours dans le pertuis de Lamanon que le cône *latéral* de la *Crau* est resté intact.

le plus puissant de la Suisse, après avoir plongé dans les lacs de Genève et de Neufchatel, venait se heurter contre le Jura et que là il se bifurquait : la branche occidentale, beaucoup inférieure à l'autre, descendait vers la France, et la branche principale s'épanchait à l'est. Ce n'est donc pas dans notre bassin du Rhône, mais dans ceux du Rhin ou du Danube ; ce n'est pas en France, c'est en Hollande ou en Hongrie qu'il faut rechercher la majeure partie des alluvions glaciaires du Rhône. La moindre part, qui est venue de ce côté des Alpes et qui n'a pas été entraînée à la mer, forme les *alluvions anciennes de la Bresse*.

Il faut se garder de voir des cônes torrentiels là où il n'y en a pas; cependant, la crainte d'un entraînement systématique ne doit pas fermer les yeux à l'évidence.

La carte de l'état-major (*feuille n°* 159) représente le pays des Dombes ; c'est un plateau si complétement couvert par les étangs, qu'on serait d'abord tenté de croire qu'il n'offre aucune pente sensible ; mais,— circonstance singulière, — tous ces étangs ont la forme de rectangles allongés dont les grands côtés sont orientés suivant des lignes droites qui divergent d'un centre commun situé vers Pèrouge. Si l'on promène sur la carte une règle dont une extrémité reste fixée vers ce point central tandis que l'autre extrémité décrit un arc de cercle, on voit tous les étangs s'aligner successivement le long de la règle, c'est-à-dire suivant les rayons du cercle. Si l'on mesure ensuite les cotes d'altitude de ces étangs disposés, d'une manière si singulière, en éven-

tail, on s'aperçoit qu'ils s'abaissent régulièrement en s'éloignant du centre commun, c'est-à-dire que la carte représente la projection horizontale d'un cône.

Suivons, par exemple, la route de Meximieux à Bourg, qui est orientée du sud au nord. Meximieux est à la cote 218, dans la plaine, au pied d'un coteau rapide, non loin du débouché du Rhône; partant de ce point, le route s'élève rapidement sur une berge d'érosion à la cote 312, qui est celle du sommet conique et à partir de laquelle la route descend régulièrement jusqu'à Bourg. La pente du plateau, mesurée à partir de cette cote 312, est

Vers le nord jusqu'à Lent. . . . . $\frac{312-291}{23000^m} = 0.00091$

Vers le nord-ouest jusqu'à Chatillon. . . $\frac{312-287}{26000^m} = 0.00096$

Vers l'ouest jusqu'à Trévoux. . . . . $\frac{312-281}{32000^m} = 0.00097$

Au delà de Bourg, sur le méridien 3°.20′ (*feuille n° 148*), la pente est encore $\frac{241-206}{40000} = 0{,}0009$; plus au nord, en approchant de la vallée du Doubs, la pente se réduit à 0,0003.

Le terrain est formé de nappes de cailloux roulés, de sables, de graviers, recouvertes par des dépôts erratiques. On retrouve près du Rhône des dépôts qui ont tous les caractères d'une moraine; les cailloux diminuent de grosseur à mesure qu'on s'éloigne du Rhône. Les *alluvions de la Bresse* sont donc, sans contestation

possible, un cône dont le modelé remonte à la période glaciaire et à l'ère torrentielle.

A l'exception de quelques ruisseaux qui tombent dans le Rhône, les cours d'eau, assez rares d'ailleurs, qui ont creusé leurs thalwegs sur le plateau de la Bresse, tels que la *Chalaronne*, le *Bourban*, le *Solnan*, l'*Irance*, la *Veyle*, la *Reyssouge*, la *Saune*, la *Sane-Vive*, la *Sane-Morte*, le *Sevron*, la *Guyotte*, la *Charetelle*, etc., coulent vers le nord ou le nord-ouest, c'est-à-dire qu'ils descendent les arêtes du cône. Quelques-uns seulement, au moment de tomber dans la Saône, décrivent une courbe vers l'ouest. Cette disposition paraît d'autant plus remarquable sur une carte hydrographique, que ces thalwegs dirigés vers le nord sont compris entre la *Saône* d'une part, et, d'autre part, l'*Ain* et le *Surand*, qui coulent vers le sud.

Une rivière fait exception à cette disposition générale, c'est la *Seille*, qui traverse le plateau de l'est à l'ouest, après avoir reçu la *Brenne* et la *Vallière*. La carte rend parfaitement compte de cette exception: les rivières du premier groupe dénommé ci-dessus prennent naissance sur le cône glaciaire, elles en descendent les arêtes. Au contraire, la *Seille* et la *Vallière* sortent chacune d'une gorge du Jura ; par suite, ces rivières ont superposé leurs déjections glaciaires à celles du Rhône sous la forme de deux petits cônes voisins et parallèles qui interfèrent, et dont les interférences déterminent le tracé des thalwegs transversaux.

Entre le débouché du *Doubs* et celui de la *Loue*, le vaste plateau incliné de la forêt de Chaux paraît être sorti de la gorge du Doubs.

La faible pente du lœss conique de la Bresse est remarquable ; elle confirme l'opinion de ceux qui pensent que le bassin de la Saône a pu être barré à Lyon et que les alluvions anciennes de la Bresse se sont déposées dans un lac. Si ce lac a existé, il s'étendait sur une surface dix fois plus grande que celle du lac de Genève : il suffirait qu'il eût débâclé quelquefois dans la vallée du Rhône, par suite des mouvements du glacier, pour produire les effets diluviens dont on retrouve les traces, à l'aval, jusqu'à la mer.

En étudiant avec détail sur la carte et sur le terrain, soit le tracé des thalwegs, soit la forme transversale des vallées, au pied des Pyrénées ou des Alpes, mille circonstances qui paraissaient d'abord fortuites s'expliquent lorsqu'on les rattache à l'ère torrentielle. L'érosion des vallées qui s'est faite postérieurement dans les dépôts de cette époque, paraît elle-même soumise à certaines lois, et ce n'est pas au hasard que se sont dessinées ces terrasses souvent remarquées des géologues et qui marquent les divers degrés d'érosion. Il y aurait ici matière pour une étude intéressante, mais qui nous entraînerait trop loin de notre objet actuel (1).

(1) Il est singulier que la forme conique des dépôts de lœss ainsi que les conséquences qui en résultent naturellement et qui forment la matière du présent chapitre n'aient pas frappé plus

L'*Ère torrentielle* rend compte aussi de certaines analogies que présentent entre elles les cultures, les constructions, les habitudes locales de régions éloignées: tel canton du Béarn ou de la Gascogne offre des ressemblances inattendues avec les hautes plaines du Dauphiné. Comment en serait-il autrement? Ici et là, les hommes sont venus défricher du lœss glaciaire, formé d'éléments analogues, ayant subi la même préparation. Il leur a bien fallu construire des murailles de cailloux roulés ou de pisé, lorsque le terrain n'offrait pas d'autres matériaux. Il fallait bien élever des clôtures le long des chemins ou des clapiers autour des parcelles pour débarrasser le sol des blocs glaciaires qui l'encombraient.

---

vivement l'attention. On rencontre, au contraire, dans des ouvrages autorisés, les explications les plus singulières.

Un savant ingénieur, qui a cependant remarqué le premier la forme conique des dépôts situés au débouché de la vallée de l'Isère, explique ces dépôts par un grand courant diluvien qui, descendu du sommet des Alpes, aurait remonté le bassin de la Saône, traversé le Jura ou les Vosges et se serait perdu dans le Rhin.

Plus récemment, un autre ingénieur, après avoir fait une étude attentive et pleine d'observations judicieuses sur la nature des dépôts diluviens, mais négligeant leur forme générale et passant la période glaciaire sous silence, imagine que, les Andes d'Amérique s'étant soulevées tout à coup, il en est résulté une vague océanique qui s'est promenée à travers l'Europe et qui a laissé derrière elle les alluvions anciennes de la Gascogne, du Dauphiné et de la Bresse, ainsi que les erratiques de l'Allemagne et de la Russie.

Cet intéressant problème se résout cependant d'une manière fort simple et, je crois, incontestable par la seule considération des phénomènes glaciaires et torrentiels, attestés par la forme générale (conique) des dépôts diluviens et par la nature des débris qui les composent.

Comment le châtaignier ne serait-il pas cultivé partout sur les moraines granitiques et le noyer sur les cônes, puisqu'ils y prospèrent? Le chanvre aime les alluvions humides des vallons, et la vigne se plaît parmi les cailloux silicieux des coteaux. Vers les Pyrénées et vers les Alpes, ces deux cultures recherchent les mêmes accidents du sol, et l'on voit dans la plaine de Tarbes, comme aux environs de Grenoble, les pampres suspendus en guirlande s'élancer d'un arbre à l'autre.

C'est donc avec une parfaite raison et l'on peut dire par une intuition du génie, que les illustres auteurs de la carte géologique de France, MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, à une époque où personne ne pensait à la période glaciaire, ont rattaché à une même cause et coloré de la même teinte, ces dépôts étendus au pied des Alpes et des Pyrénées et qu'ils ont appelés les *alluvions anciennes de la Bresse*.

Le gravier même des rivières reporte l'esprit à l'*Ère torrentielle;* les cailloux formant le lit de la Garonne dans la partie inférieure de son cours, vers la Réole par exemple, ne sont pas des mêmes roches que les galets qui roulent actuellement au débouché des montagnes, vers Montréjeau; ils offrent, au contraire, une analogie très-grande avec les alluvions post-glaciaires déposées en terrasses dans la vallée. Ce serait donc une erreur de croire que ces cailloux descendent actuellement des Pyrénées: ce sont des témoins des époques glaciaire et torrentielle; ils s'usent peu à peu sur le fond de la rivière impuissante à les déplacer. De même, on

peut citer des rivières telles que le Gers, la Baïse, etc., ou même de simples ruisseaux dont tous les coteaux argileux ou calcaires ne fournissent aucun élément de silex ou de schiste et qui cependant coulent sur des fragments arrondis de ces roches (1).

D'après ces exemples auxquels il serait facile d'en ajouter beaucoup d'autres, il est permis de dire que,

---

(1) D'immenses dépôts de lœss glaciaire remanié pendant l'ère torrentielle se retrouvent dans le bassin du Danube, du Rhin, etc.

Dans une étude très-intéressante sur les sables de la Loire, M. Partiot signale le caractère d'ancienneté géologique des graviers de ce fleuve: il dit aussi au sujet du Rhin :

« Le Rhin présente un exemple frappant de débris anciens accu-
« mulés le long d'un cours d'eau. Ce grand fleuve, qui traverse le
« lac de Constance, n'emporte rien des roches au milieu desquelles
« il prend sa source. Mais au-dessous de Bâle, la quantité des
« galets qu'il charrie est énorme.

« Depuis Bâle jusqu'à Bingen toute la plaine du Rhin paraît
« avoir formé jadis une vaste nappe d'eau, et ce fleuve, dans les
« variations de son cours, entraîne aujourd'hui les débris qui s'y
« sont jadis entassés pendant des siècles. » (*Annales des P. et Ch.* Avril 1871).—Remarquons cependant que c'est une erreur de supposer que le Rhin ait formé un lac de Bâle à Bingen: les terrasses creusées depuis, dans les galets anciens, ne sont pas horizontales: elles ont une pente qui diffère peu de celle du fleuve actuel. C'est ce qu'on voit très-bien sur le même fleuve avant sa sortie de la chaîne des Alpes où les pentes sont beaucoup plus fortes. Voyez *Ch. Martins, sur les formes régulières du terrain de transport des vallées du Rhin, antérieur et postérieur.* (*Bulletin de la Société géologique*, 1842, p. 322.) Ces terrasses sont les restes des dépôts anciens abandonnés par les débâcles glaciaires: le Rhin s'est encaissé depuis dans ces dépôts anciens comme la Garonne, l'Adour, le Rhône, l'Isère, la Durance, etc., et en général tous les cours d'eau dont le régime s'est régularisé depuis la fin du *grand hiver*.

pour avoir la claire intelligence des circonstances locales dans les régions voisines des hautes montagnes, il est nécessaire que l'ingénieur, le géologue, l'agriculteur se familiarisent avec les phénomènes glaciaires et torrentiels.

On peut, en quelques mots, résumer ainsi la série entière de ces phénomènes :

Les montagnes sont le résultat d'une série de soulèvements qui se sont ajoutés les uns aux autres, dans la même région. Une dernière secousse a donné aux diverses chaînes leur relief actuel ; elle a élevé les sommets et ouvert des fissures profondes ou failles qui sont devenues nos vallées. Dès cette époque, les eaux ont commencé à façonner les thalwegs suivant le profil qui leur convient ; elles ont usé les seuils et remblayé les bassins. Il faut admettre que l'épaisseur des alluvions déposées au fond de certaines vallées, par exemple de celles de l'Isère, dans le Graisivaudan, ou du Rhin en Alsace, se mesure par centaines et peut-être par milliers de mètres, car, aujourd'hui encore, certains lacs établis dans les dépressions méridionales des Alpes, descendent leur fond bien au-dessous du niveau de la mer.

Après une longue série de siècles, les montagnes offraient déjà les principaux traits de leur topographie actuelle, lorsque, le climat s'altérant, les grands glaciers sont venus activer le travail de l'érosion : ils ont raboté les escarpements et façonné en assises presque horizontales les berges rocheuses des vallées.

Les débâcles des lacs, les déluges résultant de fortes pluies d'été sur de vastes champs de glaces ont entraîné et déposé dans les vallées principales, à certaines places favorables, mais surtout au débouché des gorges latérales, les masses de lœss qui ont formé de hautes plaines coniques et dans lesquelles les cours d'eau ont creusé depuis des vallées secondaires. Plus tard, après la fonte des glaciers, les torrents se sont emparés des montagnes dénudées, ils ont librement creusé leurs bassins ; ils ont remanié les matériaux désagrégés par les glaciers et déposé les cônes gigantesques qui donnent à certaines régions une physionomie particulière (1).

---

(1) M. Philippe Breton a joint au mémoire, dont le chapitre X donne l'analyse, une carte des cônes post-glaciaires de la vallée de l'Isère; cette carte rend parfaitement compte des ondulations que l'on remarque sur le plat-fond de la vallée, lorsqu'on la parcourt en chemin de fer ou même en suivant la route; celle-ci ne cesse de monter ou de descendre, et, sur chaque faîte, elle traverse un torrent éteint.

Dans la vallée de la Durance, les terrasses de poudingue si caractéristiques, sur lesquelles sont assises les villes d'Embrun, de Mont-Dauphin, etc., sont des alluvions déposées antérieurement à la période glaciaire, par l'ancienne Durance. Ces poudingues ne contiennent pas de gros blocs, mais seulement des galets parfaitement arrondis dont les dimensions assez réduites permettent de croire que la rivière n'avait alors qu'une force d'entraînement comparable, peut-être même inférieure, à celle de la Durance actuelle. Ces dépôts (et notamment le roc d'Embrun) ont été rabotés sur leur plan supérieur et entamés dans leur profondeur par le glacier de la Durance; dans les parties supérieures du bassin, on n'en retrouve plus que quelques massifs ou témoins qui se sont conservés dans des positions favorables où ils étaient abrités contre le courant glaciaire; les restes les mieux conservés s'étendent en amont de Sistéron et en face de Manosque.

Mais bientôt les forêts, se propageant de proche en proche, ont étouffé les eaux sous un manteau de verdure; les torrents se sont éteints; une ère de paix et de calme relatif a régné dans les montagnes; c'est alors que les tribus humaines qui, pendant la période glaciaire, erraient dans les plaines basses en compagnie du renne, de l'aurochs, de l'ours, ont commencé à se répandre dans les hautes vallées. Les plus anciens établissements se sont fixés à la gorge des torrents vers le sommet du cône; en effet, il existe, dans les vallées de montagnes, bien peu de ces gorges où l'on ne rencontre encore soit un village actuel soit une ruine ancienne.

Dans cette position qui était alors favorable, les premiers habitants pouvaient en sécurité profiter de la fertilité exceptionnelle du cône de déjection; ils n'avaient à craindre ni la rivière principale, qui débordait sur les terres basses, ni le torrent, qui était éteint; ils dominaient la plaine et se trouvaient à portée de la montagne. Dans la gorge voisine, le torrent leur donnait l'eau; la forêt donnait le bois et le rocher la pierre; sur les cîmes verdoyantes se répandaient les troupeaux.

Peu à peu l'usage inconsidéré des forêts et des pâturages a troublé l'équilibre des forces naturelles: la plaie ancienne s'est rouverte, et de nouveau, par le fait de l'homme, la lèpre des torrents a été inoculée aux montagnes. Le mal s'est accru pendant de longs siècles de désordre et d'incurie; la position des cultures et des villages établis au débouché des torrents est devenue très-critique et, si l'on ne remonte pas comme nous venons

de le faire jusqu'aux anciens âges, on ne s'explique plus comment des hommes ont placé leur demeure dans l'endroit qui paraît aujourd'hui le plus directement menacé.

Mais enfin, une époque réparatrice commence, et, grâce aux travaux des auteurs éminents dont les noms se sont présentés à nous dans les pages qui précèdent, la génération prochaine peut espérer de voir le déclin définitif de l'*Ère torrentielle*.

FIN.

APPENDICE.

Nous avons rapporté, au chapitre VII, quelques extraits des délibérations du Conseil général des Hautes-Alpes, relatives à la *régénération des montagnes* par le boisement et le gazonnement. Pendant la session de 1871, plusieurs conseils généraux ont émis des vœux sympathiques à cette œuvre si utile. Voici quelques extraits caractéristiques :

Département de la Loire. — Séance du 27 octobre 1871.

« Le reboisement de nos montagnes, si nécessaire « pour prévenir les grandes inondations, plus nécessaire « encore pour assurer dans l'avenir des ressources pré- « cieuses à notre grand bassin houiller, se poursuit len- « tement, mais avec persévérance. Déjà 2.721 hectares « ont été reboisés ; la dépense totale de ces reboise- « ments s'est élevée à la somme de 390.000 francs.

« Le département y a contribué pour 29.000 francs, « les propriétaires pour 114.000 francs, l'État pour « 245.000 francs. M. le sous-inspecteur des forêts, « Messieurs, espère que de nombreux travaux de re- « boisement s'exécuteront en 1872 ; il prie avec instance « le Conseil général de maintenir au budget l'allocation

« habituelle. Votre commission, Messieurs, partage le « désir de M. le sous-inspecteur.

« Elle vous propose le vote suivant :

« Le Conseil général, reconnaissant qu'il est du plus « grand intérêt d'encourager le reboisement des mon- « tagnes, vote le crédit de 3.800 francs demandé par « M. le sous-inspecteur des forêts pour le service du « reboisement dans le département de la Loire. »

Département des Basses-Alpes. — Séance du 3 *novembre* 1871.

« Le reboisement et le gazonnement des montagnes « ont reçu depuis quelques années une vive impulsion « dans nos contrées. Dans le but de donner à ce service, « dont l'importance n'a échappé à aucun de vous, Mes- « sieurs, une impulsion nouvelle, et d'attirer sur notre « département la part à laquelle sa position lui donne « droit sur les crédits ouverts au budget de l'État et que « l'Assemblée nationale a maintenus à 1.500.000 fr., « la commission vous propose d'exprimer sa satisfac- « tion pour le zèle et l'intelligence des agents de tous « grades, à titre d'encouragement, et vous demande de « donner votre approbation au projet de délibération « suivant :

« Considérant :

« 1° Que la régénération des montagnes par le re- « boisement et le gazonnement est pour les vallées du « département une question d'être ou de n'être pas; « que cette mesure affecte dès lors l'intérêt général à « un point de vue plus vaste et plus élevé encore que

« celui déjà si important des inondations dans les ré-
« gions inférieures des rivières ;

« 2° Que les travaux exécutés dans la première pé-
« riode décennale, prévue par la loi du 28 juillet 1860,
« présentent en ce moment des résultats qu'on osait à
« peine espérer tant au point de vue de la protection
« des routes qu'à celui de l'extinction des torrents ; que
« ces travaux concentrés avec raison, pendant cette
« première période d'expériences, sur une surface res-
« treinte relativement à l'état de ruine où se trouvent
« la plupart des hautes montagnes, doivent dès à pré-
« sent recevoir une large extension afin de protéger au
« plus tôt les vallées les plus menacées ;

« 3° Que le département des Basses-Alpes est sans
« contredit un des plus désolés par les torrents, dont les
« ravages augmentent annuellement par suite de la dé-
« nudation du sol instable sur les pentes énormes des
« hautes montagnes ;

« 4° Que malgré ses faibles ressources, le département
« n'a cessé de s'associer à l'œuvre entreprise, et a
« constamment fourni une subvention importante ;

« Le Conseil général, voulant donner un nouveau té-
« moignage de sympathique concours au service du re-
« boisement, alloue pour l'exercice 1870 une somme
« de deux mille cinq cents francs (2.500 fr.) et émet
« les vœux suivants :

« 1° Que les crédits à allouer comme continuation
« ou renouvellement de ceux accordés par l'article 14
« de la loi du 28 juillet 1860 et l'article 7 de la loi du
« 8 juin 1864 soient votés pour une nouvelle période
« de dix années ;

« Que ces crédits soient portés à un chiffre plus élevé « et plus conforme à l'importance, dès à présent con- « statée, des résultats à obtenir et déjà obtenus de ces « utiles travaux ;

« 2° Que les indemnités à accorder pour privation « temporaire de pâturage soient largement allouées aux « communes qui en feront la demande, de manière à « donner entière satisfaction aux intérêts lésés ;

« 3° Que l'État rachète les terrains boisés qui vien- « draient à être aliénés par les communes, toutes les « fois que ces acquisitions pourront venir en aide à « l'œuvre du reboisement;

« 4° Que le service du reboisement et gazonnement « soit doté de crédits suffisants pour assurer la prompte « exécution et le large développement des travaux affé- « rents à cet utile service.

« Le Conseil, s'associant unanimement aux paroles « flatteuses du rapporteur pour les agents du reboise- « ment et à la proposition qu'il soumet à l'Assemblée, « en adopte les conclusions par acclamation. »

Le Conseil général des Hautes-Alpes a, de son côté, renouvelé, en 1871, l'expression de ses sympathies pour l'œuvre de la régénération des montagnes.

Ces témoignagnes récents ont une grande importance : ils démontrent quel intérêt sincère et profond s'attache à cette œuvre, puisqu'au lendemain des terribles événements qui ont semé tant de ruines sur notre sol, les populations réclament instamment la reprise immédiate des travaux féconds de l'administration forestière.

Ces travaux ont attiré aussi l'attention de lAssemblée nationale. Dans la séance du 27 juin 1871, M. Eugène Tallon, député du Puy-de-Dôme, a déposé sur le bureau de l'Assemblée, au nom d'une sous-commission des travaux agricoles, un rapport très-important qui traite spécialement de la *Régénération des montagnes* entreprise en exécution des lois de 1860 et 1864 (1). Ce rapport sera consulté avec beaucoup de fruit par ceux qui portent quelque intérêt à l'objet de nos études. L'auteur y cite un passage de M. Surell, et l'ensemble du rapport est en parfaite concordance de vues et de sentiments avec l'*Etude sur les torrents*. Cependant, le lecteur familier avec les circonstances spéciales des Hautes-Alpes trouvera dans le rapport de M. Tallon les aperçus qui paraissent plus particulièrement se rapporter aux régions du plateau central de la France. On en pourra juger par les conclusions de ce rapport qu'il convient de reproduire ici intégralement :

« Ire PROPOSITION. — *Révision de la loi du 28 juillet 1860.*

« La commission, déterminée par les considérations « qui précèdent, émet l'avis d'apporter à la loi du « 28 juillet 1860, tout en acceptant son renouvellement, « les modifications suivantes :

« 1° Supprimer le reboisement obligatoire sur les « terrains communaux ou appartenant aux particuliers.

« Ne l'admettre qu'a titre exceptionnel dans les ter-

(1) Annexe 355, p. 648 du IIIe volume des *Annales de l'Assemblée nationale*.

« rains communaux, en vertu d'une décision du con-
« seil général rendu après enquête et sur l'avis des
« conseils municipaux des communes intéressées.

« 2° Maintenir l'attribution des subventions en argent
« et en nature et des indemnités au profit des com-
« munes et des particuliers qui consentiraient à sou-
« mettre leurs terrains au régime forestier.

« 3° Donner la priorité aux travaux de gazonnement
« et les pratiquer partout où il sera possible.

« 4° Modifier la composition des commissions char-
« gées de déterminer les périmètres des terrains admis
« à être subventionnés ; laisser aux conseils généraux
« le choix des membres de ces commissions qui seront
« principalement composées d'agriculteurs.

« Soumettre pour les terrains communaux et après
« enquête préalable la fixation des périmètres à l'ap-
« probation des conseils généraux.

« 5° Élever le chiffre des subventions, les transformer
« en partie en diminutions sur l'ensemble des impôts au
« profit des propriétaires des terrains boisés.

« 6° Assurer le payement direct des indemnités de
« pâturage aux usagers dépossédés par le versement
« à chacun d'eux suivant des états personnels dressés
« par l'administration forestière et approuvés par les
« conseils généraux.

« II° PROPOSITION. — *Modification au budget rectificatif.*

« Maintenir au budget le crédit de 3.500.000 francs
« affectés pour 1871, aux travaux des routes forestières,
« de boisement et de gazonnement.

« IIIe PROPOSITION.— *Modification à l'organisation ministérielle.*

« Transférer, du ministère des finances au ministère « de l'agriculture et du commerce, la direction géné- « rale des forêts.

« Attribuer, en conséquence, au ministère de l'agri- « culture les crédits affectés à celui des finances pour la « direction générale des forêts.

« Telles sont les réformes qu'une étude attentive de « la législation, jointe à une égale sollicitude des inté- « rêts généraux du pays et du respect de la propriété « privée, ont déterminé la commission des travaux pu- « blics à soumettre à l'Assemblée nationale.

« La première proposition lui sera présentée par « voie d'initiative parlementaire. Nous exprimons le « vœu que dans un temps prochain elle soit transformée « en une loi qui donnera une légitime satisfaction aux « réclamations des populations intéressées.

« Quant aux deux autres propositions, nous en de- « mandons, dès à présent, le renvoi aux commissions « spéciales de l'organisation des services publics est des « budgets. » (Renvoi ordonné.)

Les §§ 1 et 4 de la première proposition nécessitent quelques réserves pour la région des Alpes. Les travaux d'extinction de nos torrents tels qu'ils sont commandés par la nature spéciale des terrains et du climat, ne seraient pas convenablement caractérisés par les mots ***boisement*** ou ***gazonnement***. On a vu dans le présent volume (chapitre VIII) que l'extinction artificielle n'est

obtenue que par un système de travaux très-ingénieux où l'art du forestier et celui de l'ingénieur se prêtent un mutuel secours. L'extinction des torrents est en réalité une branche spéciale des travaux hydrauliques dont la pratique exige des études et une expérience techniques. Il est donc impossible de compter ici sur l'initiative et sur l'adresse des particuliers, et s'il convient, ainsi que nous l'avons réclamé nous-même ci-dessus (page 251), de donner aux populations le moyen de faire prévaloir leurs plaintes légitimes, il importe aussi de conserver à l'administration forestière sa naturelle prépondérance dans la préparation des projets et l'exécution des travaux.

L'opinion des Hautes-Alpes à ce sujet n'est pas douteuse ; elle est d'autant plus intéressante à constater que c'est dans cette région que l'opposition à l'administration s'est montrée autrefois la plus vive. Voici en quels termes conclut la commission du conseil général (1871) après avoir discuté le rapport de M. Tallon :

« Il faut apporter tous les ménagements possibles et « user le moins qu'il se pourra de l'expropriation ; mais « il ne faut pas aussi qu'un intérêt personnel trop exi- « geant ou trop absolu puisse faire obstacle à l'exécu- « tion des mesures d'intérêt général.

« Votre commission vous propose donc d'émettre « le vœu que la loi à intervenir conserve la faculté « d'expropriation pour cause d'utilité publique et rende « les travaux obligatoires soit par la commune soit par « l'état si les communes ne veulent pas les exécuter. »

La deuxième proposition de la sous-commission a été adoptée par l'Assemblée nationale.

La loi de 1860, dont la durée était fixée à dix années et qui est expirée en 1870, n'ayant pu être renouvelée, les travaux de boisement et de gazonnement précédemment alimentés par les ressources des budgets extraordinaires sont retombés à la charge du budget ordinaire Un crédit de 3.500.000 francs, dont 1.500.000 francs pour le boisement et le gazonnement, a été alloué pour 1871.

Malheureusement le projet de budget pour 1872 n'attribue à ce chapitre que 1.563.000 francs au lieu de 3.500.000 francs, savoir: pour le gazonnement et le reboisement 763.000 au lieu de 1.500.000 francs.

Triste effet de la guerre! la France est réduite à augmenter les dépenses militaires qui sont ruineuses et à diminuer les dépenses de travaux publics qui sont productives!

La troisième proposition de la sous-commission sera favorablement accuellie par tous les amis des forêts. Un vœu analogue se trouve formulé sous une forme indirecte au premier chapitre de ce volume (page 10).

FIN DE L'APPENDICE.

NOTES.

NOTE A.

Régime pluvial des alpes françaises.

Chap. III, p. 57.

Note due à l'obligeance de M. Raulin, professeur à la Faculté de Bordeaux.

En 1868 et en 1869, j'ai établi que, dans l'Europe septentrionale et médiane et la Sibérie jusqu'au Kamschatka, il y a prédominance des pluies pendant trois mois d'été d'autant plus marquée qu'on s'avance davantage vers l'est, tandis que, dans la région méditerranéenne, il y a pénurie de pluie pendant la même saison.

Il est intéressant de rechercher quel est en France le régime pluvial de la haute chaîne qui sépare les deux grands bassins orographiques de l'Europe septentrionale et de l'Europe méridionale. C'est ce que vais essayer de faire au moyen surtout des observations du service des ponts et chaussées que MM. les ingénieurs en chef des départements alpins ont bien voulu me communiquer.

On aurait pu croire *à priori* que le régime septentrional à pluies d'été si bien établi, d'une part, dans toute la plaine de la Suisse et jusqu'à Lyon et, d'autre part, dans la plaine lombardo-vénitienne de l'Adriatique jusqu'au delà de Milan, que ce régime se serait continué dans les hautes montagnes également froides du rameau occidental des Alpes, qui du mont Blanc s'avance en S jusqu'à Nice et Draguignan; mais il n'en est rien.

Dans les hautes sommités septentrionales, au grand Saint-Bernard, le régime méditerranéen est déjà fortement accusé; les pluies d'été n'y sont guère que les deux tiers de celles du printemps qui l'emportent un peu sur celles d'automne; et cette pénurie d'eau atmosphérique en été va en s'accentuant davantage à mesure

que de cette station septentrionale on se rapproche davantage de la Méditerranée.

Dans les Hautes-Alpes, à Briançon, les pluies de printemps, plus prédominantes, l'emportent jusqu'au double sur celles de l'été; dans les autres stations du département, Gap et Serres et aussi à Die sur la Drôme, les pluies d'automne atteignent en moyenne une hauteur double de celles de l'été.

Dans les Basses-Alpes, à Barcelonnette, Digne, Castellane et Manosque, la différence entre les pluies d'été et d'automne devient encore plus grande : elle se poursuit sur les plateaux du Var à Régusse.

Sur le pourtour de ce rameau occidental des Alpes, le régime pluvial offre de grandes différences ainsi qu'on a déjà pu le pressentir. Dans la plaine de la Suisse et dans son prolongement au S.-O., de Zurich jusqu'au confluent du Rhône et de l'Isère, c'est le régime septentrional le mieux accusé, avec prépondérance des pluies d'été à Zurich, surpassée par celle des pluies d'automne à Genève, à Chambéry et à Lyon et même à Annonay et Tournon (Ardèche). Mais on le voit changer subitement et passer complétement au régime méditerranéen dans la vallée du Rhône dès qu'on a dépassé le confluent de l'Isère.

A Valences, à Viviers, à Orange, à Avignon, les pluies de printemps, encore prédominantes, sont de beaucoup dépassées par celles d'automne.

Sur le littoral, de Marseille à Toulon, Hyères et Gênes, les pluies de printemps sont souvent inférieures à celles d'hiver, dont la quantité est fortement dépassée par celle des pluies d'automne.

Le régime méditerranéen, ainsi caractérisé, franchit l'Apennin et s'étend dans la partie méridionale de la plaine du Po, à Parme et à Guastalla; mais, à Bologne déjà et dans la partie septentrionale à Padoue et Milan et dans le Piémont à Turin et Yvrée, on retrouve le régime septentrional caractérisé là, comme à Genève, par une augmentation constante de la quantité de pluie de l'hiver à l'automne.

Tous ces résultats sont mis en évidence par le tableau suivant :

STATIONS.	ALTITUDES.	JANV.	FÉVR.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILL.	AOUT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.	ANNÉE.	ANNÉES D'OBSERVATION.	
Littoral de la Méditerranée.																
		mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	m.		
Marseille.	»	44,0	43,8	19,8	26,9	77,5	20,5	6,3	12,6	70,0	93,0	66,3	41,6	522,3	10	1851—1860
Toulon.	»	66,7	68,3	65,1	30,2	57,7	23,5	7,2	14,3	78,7	133,7	112,9	74,3	732,6	16	1852—1867
Hyères.	»	74,0	71,7	61,8	58,6	64,4	25,7	6,6	20,7	86,2	149,0	106,6	95,3	820,6	25	1824—1848
Gênes.	»	110,5	111,2	92,4	95,0	91,8	54,3	35,4	71,7	138,7	210,0	171,8	103,3	1286,0	35	1833—1867
Régusse (Var). . .	5,15	80,8	54,1	97,3	50,3	121,2	67,2	23,6	38,5	88,2	185,4	116,6	76,1	999,3	14	1853—1866
Bassin du Rhône.																
Orange.	40	87,6	52,9	68,0	40,9	135,0	85,5	62,6	45,9	138,2	167,5	90,3	53,0	1027,4	13	1853—1865
Valence.	113	47,4	37,8	85,6	64,9	92,7	91,5	39,9	64,7	134,8	162,2	80,5	47,8	949,8	23	1845—1868
Lyon.	295	25,5	34,0	32,8	51,6	89,2	91,2	51,9	68,3	65,3	99,6	56,2	38,5	724,1	10	1852—1861
Chambéry.	305	80,1	56,1	94,2	79,4	91,0	90,0	71,0	112,5	111,2	100,0	90,0	84,6	1060,1	14	1839—1869
Genève.	387	55,0	45,6	46,4	57,3	78,7	80,0	76,7	73,3	88,4	92,5	80,8	62,7	837,4	78	1782—1860
Die.	413	35,9	35,2	46,0	64,5	84,3	64,6	40,2	66,4	81,8	108,0	68,3	37,7	732,9	21	1848—1868
Grand St-Bernard.	2,491	125,4	93,9	96,3	135,9	122,6	100,2	75,7	73,1	98,9	129,0	101,7	86,4	1239,1	19	1842—1860
Bassin de la Durance.																
Manosque.	370	38,7	40,5	65,6	33,1	62,3	46,1	11,6	26,9	75,6	110,6	71,1	50,1	632,2	9	1858—1866
Digne.	639	40,4	33,2	75,4	47,1	88,6	50,1	21,7	29,2	62,4	100,4	85,8	71,2	705,7	9	1858—1866
Serres.	662	26,7	41,7	68,5	39,3	58,3	60,2	23,5	28,5	100,3	127,9	64,4	46,9	706,4	10	1857—1866
Gap.	740	51,9	35,7	66,9	58,1	76,1	68,3	32,7	45,3	85,6	150,4	68,6	57,3	796,9	14	1846—1863
Castellane.	786	65,6	42,4	90,6	45,1	104,1	61,5	17,9	37,2	78,6	151,1	99,7	79,6	873,0	9	1858—1866
Embrun.	870	45,2	33,1	53,6	37,4	52,7	58,6	30,8	37,5	72,4	88,0	61,8	32,5	603,6	11	1858—1868
Barcelonne.	1.173	27,7	36,4	47,0	35,7	46,4	17,8	22,0	16,5	57,6	60,9	49,3	22,4	439,7	9	1858—1866
Briançon.	1.305	36,9	17,4	61,9	71,9	67,1	40,6	30,9	44,1	54,7	79,5	30,5	29,7	565,2		

NOTA. — Les observations publiées ont été extraites :
Grand St-Bernard et Genève. *Arch. des sciences physiques.* — Régusse, Orange : *Journal d'agric., de Barral.* — Lyon, Marseille : *Société d'agric. et de statistique.* — Hyères, Gênes : *Publication spéc. de Denis, Fasiani et Gatta.*

Les observations inédites sont dues à des communications bienveillantes.
Chambéry : *M. du Moulin, ing. en chef.* — Briançon, Embrun, Gap : *MM. Gentil et Mounet, ing. en chef.* — Serres, Barcelonnette, Digne, Manosque, Castellane : *M. Mounet, ing. en chef.* — Die et Valence : *M. Hardy. ing. en chef.*

Sous le rapport de la quantité annuelle de pluie qui arrive moyennement sur le sol, dans les Alpes occidentales, il y a de grandes différences entre les diverses stations. Celle du grand Saint-Bernard, la plus élevée, reçoit la plus grande quantité d'eau. Dans les Hautes et les Basses-Alpes, la quantité, beaucoup moins considérable, va en général en augmentant à mesure que les stations sont moins élevées, aussi bien de Briançon à Die (Drôme) que de Barcelonnette à Régusse (Var).

Altitude 2,491m.		Grand-Saint-Bernard.	1239mm,1	de pluie.	
	1,305	Briançon.	687 ,6		
	1,173	Barcelonnette.	439 ,7		
	870	Embrun.	603 ,6		
763m	740	Gap.	796 ,9	835mm,1	
	786	Castellane.	873 ,4		
650	662	Serres.	706 ,4	706 ,0	
	639	Digne.	705 ,5		
	515	Régusse.	993 ,3		
332	413	Die.	732 ,9	682 ,5	
	370	Manosque.	632 ,2		

Ainsi, tandis que dans les Pyrénées la quantité annuelle d'eau atmosphérique va en augmentant avec l'altitude, c'est plutôt (à l'exception du grand Saint-Bernard) l'inverse qui se produit dans les Alpes françaises, d'ailleurs beaucoup moins pluvieuses.

Les quantités d'eau qui tombent sur le pourtour de la région alpine sont également très-variées : à peu près les mêmes à Zurich et à Genève, elles augmentent à Chambéry pour diminuer à Lyon, Annonay et Tournon. En aval de l'Isère, elles sont plus grandes de Valence à Orange et diminuent beaucoup à Avignon. Sur le littoral elles s'élèvent extraordinairement de Marseille à Gênes. En Piémont, elles sont aussi élevées à Turin que dans la vallée du Rhône en aval de l'Isère; à Yvrée elles atteignent un chiffre beaucoup plus considérable qu'au grand Saint-Bernard.

Comme suite aux savantes observations de M. Raulin, voir ci-après la note B.

NOTE B.

La théorie de la pluie a sans doute de grands progrès à faire.....

Chap. III, p. 63.

Il ne suffit pas, comme on le fait généralement, de mesurer la tranche pluviale : l'hydrologie, l'agriculture réclament d'autres données. Il faut distinguer la pluie par nature de vent, la pluie froide du nord, qui retarde la végétation, et la pluie tiède du sud-ouest, qui la favorise. De même, la pluie d'orage exige une étude spéciale: il n'est pas rare que, le soleil reparaissant dans toute sa force après l'averse, *l'ondée soit reprise à la terre aussitôt que donnée* (1) et retombe un moment après à la même place. L'observateur attentif à son pluviomètre peut ainsi voir la même goutte de pluie passer plusieurs fois sous ses yeux. Cette pluie des grains orageux, formée sur place, ne peut être portée en compte avec la pluie que les vents apportent de l'Océan et qui profite seule aux cours d'eau. Il y aurait donc à distinguer la *pluie de terre* et la *pluie de mer*.

Mais c'est surtout dans quelque massif de montagne déchiré par des vallées diversement orientées qu'il serait intéressant de suivre pas à pas le phénomène de la pluie. La tranche annuelle recueillie dans le pluviomètre est la résultante de courants atmosphériques, d'origines et de directions diverses, et dont les effets individuels se trouvent ainsi superposés et masqués. Il est absolument nécessaire de faire la part de chacun de ces courants, si l'on veut conserver l'espoir de débrouiller un jour la complication apparente du phénomène pluvial.

L'une des lois les plus constantes, les mieux établies de la météorologie est celle en vertu de laquelle la quantité d'eau qui tombe en chaque lieu d'un même bassin croît avec l'altitude de ce lieu. On a vu cependant dans la note A ci-dessus que pour le

(1) Dausse.

bassin de la Durance cette loi ne se vérifie que dans la partie inférieure du bassin.

Si, par exemple, on range dans l'ordre des altitudes croissantes, ainsi que nous l'avons fait au tableau de la page 363, les stations de *Manosque, Digne, Serres, Gap et Castellane*, la tranche annuelle croît assez régulièrement avec l'altitude. Au contraire, *Embrun*, *Barcelonnette* et *Briançon*, stations plus élevées que les précédentes, reçoivent moins d'eau et la moins élevée des trois est celle qui en reçoit le plus. Faut-il voir dans ces résultats une contradiction formelle de la loi de l'altitude? N'est-on pas, au contraire, porté à supposer, jusqu'à ce que l'observation ait fourni une explication décisive, que les stations inférieures reçoivent de la pluie, d'abord par le même vent qui en fournit aux stations supérieures et, en outre, par quelque vent qui n'en donne pas à ces stations, en sorte que la tranche pluviale de Gap, par exemple, résultant de la superposition de deux courants, tandis que la tranche d'Embrun ne résulterait que d'un seul courant, l'anomalie constatée entre deux stations si voisines ne serait qu'apparente.

Il est d'ailleurs bien certain que l'altitude n'agit pas seule sur le phénomène de la pluie : l'inclinaison des versants, l'opposition plus ou moins directe qu'ils font au vent pluvial, le resserrement des passages exercent une influence considérable. A côté de la loi de l'*altitude*, il faudrait donc rechercher s'il n'existe pas une certaine loi de l'*incidence*.

Les montagnes offrent, pour ainsi dire à chaque pas, des observations curieuses sur le vent, et comme la pluie y prend souvent la forme de neige, on peut y faire de faciles études sur la répartition de l'eau du ciel suivant les vents et la disposition des lieux.

Lorsqu'on monte vers une crête, et surtout lorsqu'on approche du col auquel aboutit une gorge étroite, il est bien rare qu'on reçoive le vent dans le dos ; au contraire, on est fréquemment frappé au visage par de violentes raffales. « C'est le vent de la montagne, c'est le vent du col, » disent les paysans qui s'imaginent que le vent prend naissance dans le col même. Il arrive

même que le vent qui souffle du col se révèle aux yeux sous l'apparence d'un nuage de forme constante qui de loin paraît immobile, et qui de près se trouve au contraire le théâtre d'une agitation extraordinaire : c'est ainsi que dans un cours d'eau rapide un bouillonnement blanchâtre formé de molécules agitées reste immobile et adhérent à l'obstacle qui le fait naître.

Supposons un col auquel aboutissent deux vallées orientées de l'est à l'ouest, c'est-à-dire qu'un des revers du col regarde l'orient et l'autre l'occident. Si le vent d'est souffle, le revers oriental reste calme et, de ce côté, l'on ne s'aperçoit du vent que par le mouvement des nuages élevés ; au contraire, le versant de l'ouest est *descendu* par un vent quelquefois très-violent. En cas de vent d'ouest, le calme est à l'ouest du col et la bourrasque à l'est. S'il pleut ou s'il neige, le versant calme opposé au vent recevra des quantités d'eau notablement supérieures à celles reçues par le versant agité descendu par la raffale. Après une bourrasque de l'ouest, le versant ouest sera couvert de neige, et le versant est n'en conservera qu'aux abords du col.

Naturellement, cette règle a ses exceptions qui dépendent de la configuration des gorges : il y a des cols dont l'orientation est en quelque sorte indifférente pour le vent pluvial ; mais il est incontestable que le vent qui descend la montagne est toujours plus fort que celui qui la remonte tandis qu'au contraire la pluie est toujours plus abondante à la remonte.

M. Pointcarré, ingénieur des ponts-et-chaussées à Bar-le-Duc, a étudié séparément, pour le bassin supérieur de la *Meuse*, la marche de la pluie de S. O., de N. O. ou de N. E. Il constate que les pluies de N. E., par exemple, deviennent torrentielles sur les versants gauche, c'est-à-dire regardant le N. E. de la *Saulx*, de l'*Ornain*, de l'*Aire*, de la *Meuse*, etc., et particulièrement aux lieux situés en face des vallons venant d'E. ou de N. E. et communiquant à des cols parfaitement accessibles au courant Eolien (1).

(1) *Associat. scientif.; Bulletin hebdom.*, n° 215-218, janvier 1872.

Briançon est situé au point de rencontre de deux gorges dont les cours d'eau se réunissent pour former la *Durance;* l'une des gorges descend du *Mont-Genèvre*, l'autre du *Lautaret.* Tantôt par l'une, tantôt par l'autre de ces gorges, la bise descend et souffle sur la ville, tandis que le courant venant de l'aval et remontant la Durance reste d'ordinaire insensible et ne se révèle que par des nuages qui rampent lentement sur le flanc des montagnes; mais le même vent exerce sa fureur sur l'autre côté du *Mont-Genèvre*, en Piémont.

De *Perpignan* au *Rhône*, par *Narbonne*, *Béziers*, *Cette*, *Tarascon*, le penchant méditerranéen des Corbières et des Cévennes forme un quart de cercle descendu par de violentes bourrasques qui renversent des trains en marche et refoulent au loin la mer. Au contraire, le vent de mer, quelle qu'en soit la violence, n'acquiert jamais, sur cette côte, la même intensité que le vent des montagnes.

Lorsque je quittai Paris en ballon, le 2 novembre 1870, par un vent du nord qui semblait devoir me porter au centre de la France, M. Godard, aéronaute de profession, retenu à Paris par le service des ballons, me recommanda de descendre avant de traverser la montagne, parce qu'il avait, disait-il, éprouvé dans ses nombreuses ascensions que le vent souffle toujours avec moins de force sur le versant d'amont que sur le versant d'aval au delà de la montagne.

Ainsi une chaîne de montagne placée en travers du courant éolien détermine en amont un calme, un remous et, en aval, une bourrasque, de même que dans un cours d'eau un barrage forme à l'amont une nappe tranquille et à l'aval une cataracte écumante. C'est dans le remous, dans la nappe tranquille que l'eau pluviale tombe et s'accumule.

Quelles sont les circonstances de ce phénomène? Quelle est l'influence de l'altitude, de l'inclinaison des revers, du resserrement des parois? La réponse à ces questions intéresse, au plus haut degré, la théorie encore si imparfaite de la pluie.

Il serait peut-être possible d'obtenir quelque lumière sur ces circonstances diverses par l'observation assidue d'un pluviomètre différentiel donnant la quantité d'eau correspondant à chaque nature de vent. Imaginons un cylindre vertical, de diamètre aussi considérable que possible, fermé par en haut et percé, vers les différents points de l'horizon, de fenêtres verticales correspondant chacune à une chambre intérieure. S'il y a par exemple huit fenêtres et que la quantité de pluie qui aura pénétré dans chacune d'elles soit représentée respectivement par a_1, a_2, a_3,... a_8 ; si d'ailleurs un pluviomètre ordinaire donne la quantité A de pluie annuelle qui tombe dans ce lieu, il suffira de répartir A en huit parties proportionnelles à a_1, a_2,... a_8 pour obtenir, non pas avec exactitude, mais avec quelque approximation, la pluie apportée par chacun des huit vents considérés.

Tant qu'on n'aura pas déterminé quelles relations existent entre les variations de la pluie annuelle et les variations du vent, il sera oiseux de chercher un enseignement quelconque dans ces moyennes annuelles.

Si l'on ne se proposait que de déterminer, en chaque lieu, quel est le vent qui amène le plus ordinairement la pluie, on y arriverait assez facilement par l'emploi d'un appareil très-simple. Une tour ronde exposée aux intempéries indique nettement de quel côté l'attaque est la plus forte ; de même, une borne cylindrique en briques demi-cuites ou en quelque mortier étudié exprès pour cet objet, accuserait avec une grande précision le vent pluvial régnant, dont la météorologie n'obtient, par de fastidieux calculs, qu'une approximation très-contestable (1). Cette borne indicatrice serait une sorte d'*éolimètre :* peut-être arriverait-on à construire des *éolimètres* comparables entre eux, c'est-à-dire qui seraient également dégradés par des courants égaux.

La connaissance exacte du régime de la pluie conduirait sans doute à quelques données utiles pour l'histoire des vallées d'éro-

(1) *Kaemtz, Lehrbuch der Meteorologie.*

sion, dont s'occupent tant de géologues. Il faut en effet le remarquer, si faible que nous paraisse le courant pluvial en comparaison de la résistance des reliefs qu'il attaque et qu'il ravine, ses effets ne sont pas négligeables, car il agit dans le même sens depuis un nombre incalculable de siècles, puisque la direction des vents est déterminée par la rotation de la terre.

Les Andes du Pérou n'avaient sans doute pas encore atteint leur relief actuel et déjà leur masse, attaquée par la pluie venant de l'est et entraînée de ce côté par les eaux torrentielles, se déposait en alluvions horizontales pour former les plaines du Brésil, tandis que la pente tournée vers l'occident et privée de pluie, ainsi que nous l'avons vu (page 57), se conservait intacte et abrupte.

Si l'on jette les yeux sur les feuilles 240 (*Saint-Gaudens*) et 241 (*Tarbes*) de la carte de l'état-major qui nous ont déjà révélé les trois *cônes sous-pyrénéens* (pages 313 et suivantes), on est frappé d'une particularité bien singulière. Tous les cours d'eau qui descendent les arêtes des cônes et qui, par suite, coulent du sud au nord, sont bordés, à droite, d'une bande foncée, et à gauche, d'une bande blanche ; c'est-à-dire, d'après le système de hachures adopté sur la carte pour figurer le modelé du terrain, que tous les versants de droite (qui regardent l'ouest) offrent des pentes rapides, tandis que les versants de gauche (qui regardent l'est) sont doucement inclinés.

On a cherché à expliquer ce phénomène par la déviation que la rotation de la terre tend à imprimer aux corps en mouvement et notamment aux molécules des cours d'eau. L'Académie des sciences s'est livrée à ce sujet à une savante discussion dont le résultat est la condamnation de cette hypothèse. Il paraît, au contraire, probable que cette différence des versants, si remarquable dans les vallées ouvertes par érosion dans le *læss sous-pyrénéen*, doit être attribuée à l'orientation de ces vallées et à l'action du courant éolien soufflant de l'ouest et attaquant exclusivement le versant de droite de chaque vallée. J'ai réuni à ce sujet diverses observations que j'aurai, j'espère, quelque jour le loisir de coordonner.

On est donc conduit à admettre que l'exacte connaissance du régime de la pluie rendra compte de quelques particularités du modelé actuel de la surface terrestre et que réciproquement certaines circonstances des formes géologiques jetteront quelque jour sur la météorologie des époques antérieures.

NOTE C.

L'effet de la pluie sur les cours d'eau dépend de sa distribution relative entre les saisons plus que de sa hauteur totale annuelle.

Chap. VI, p. 167.

On consultera avec fruit, à l'appui de cette proposition, l'intéressant mémoire que *MM. Belgrand*, inspecteur général, et *Lemoine*, ingénieur des ponts et chaussées, ont inséré dans les *Annales des ponts et chaussées* (juin 1870).

Dans ce mémoire, les savants auteurs atteignent ce que l'on peut considérer comme les limites actuelles de la science hydrologique. Déjà, depuis plusieurs années, *M. Belgrand* a résolu, pour la Seine, le problème de la prévision, quelques jours d'avance, des crues et de leur hauteur probable : dans ce mémoire récent, les auteurs essayent de prévoir, *pour la saison prochaine*, le régime de la Seine et de ses affluents d'après le régime de la pluie *pendant la saison précédente.*

Voici un passage de ce mémoire qui se rapporte très-directement à l'objet du chapitre VI :

« Le principe fondamental de M. Dausse, que les pluies d'été

« ne profitent point aux cours d'eau, est applicable aux nappes « souterraines. Dans les terrains perméables, l'évaporation est « tellement active pendant les mois chauds, qu'une très-petite « partie de la pluie arrive alors à ces magasins d'humidité. La « différence que présentent sous ce rapport la saison chaude et la « saison froide est encore plus considérable que celle qui exprime « la proportion d'eau de pluie reçue dans des terrains imper- « méables, par les grands réservoirs artificiels. Toutefois, pour « que l'on puisse comparer entre eux les différents mois, nous « donnons ci-dessous les nombres recueillis à Freyberg (Saxe) « d'après une moyenne de vingt-neuf années d'observation (1830- « 1858) par le savant M. Reich, inspecteur général des mines « de Saxe. »

Rapport, pour les différents mois de l'année, des quantités d'eau recueillies dans les deux réservoirs de Freyberg, à la quantité de pluie tombée.

Superficie du bassin versant. . . . . 7.800 hectares environ.
Hauteur de pluie annuelle. . . . . 794 millimètres.

Novembre.	0,34	Mai.	0,30
Décembre.	0,52	Juin.	0,25
Janvier.	0,55	Juillet.	0,17
Février.	0,75	Aout.	0,24
Mars..	0,86	Septembre	0,22
Avril..	0,71	Octobre.	0,31
Moyenne du 1er novembre au 30 avril.	0,62	Moyenne du 1er mai au 31 octobre. . .	0,25
Moyenne générale de l'année. . . .	0,38		

NOTE D.

Loi du 28 *juillet* 1860 *sur le reboisement des montagnes.*

Chap. VII, p. 184.

Art. 1er. Des subventions peuvent être accordées aux communes, aux établissements publics et aux particuliers pour le reboisement des terrains situés sur le sommet ou sur la pente des montagnes.

Art. 2. Ces subventions consistent soit en délivrance de graines ou de plants, soit en primes en argent.

Elles sont accordées en raison de l'utilité des travaux au point de vue de l'intérêt général et en ayant égard, pour les communes et les établissements publics, à leurs ressources, à leurs sacrifices et à leurs besoins, ainsi qu'aux sommes allouées par les conseils généraux pour le reboisement.

Art. 3. Les primes en argent accordées à des particuliers ne peuvent être délivrées qu'après l'exécution des travaux.

Art. 4. Dans le cas où l'intérêt public exige que des travaux de reboisement soient rendus obligatoires, par suite de l'état du sol et des dangers qui en résultent pour les terrains inférieurs, il est procédé dans les formes suivantes.

Art. 5. Un décret impérial, rendu en Conseil d'État, déclare l'utilité publique des travaux, fixe le périmètre des terrains dans lesquels il est nécessaire d'exécuter le reboisement et règle les délais d'exécution.

Ce décret est précédé, 1° d'une enquête ouverte dans chacune des communes intéressées; 2° d'une délibération des conseils

municipaux de ces communes, prise avec l'adjonction des plus imposés; 3° de l'avis d'une commission spéciale composée du préfet du département ou de son délégué, d'un membre du conseil général, d'un membre du conseil d'arrondissement, d'un ingénieur des ponts et chaussées ou des mines, d'un agent forestier et de deux propriétaires appartenant aux communes intéressées; 4° de l'avis du conseil d'arrondissement et de celui du conseil général.

Le procès-verbal de reconnaissance des terrains, le plan des lieux et l'avant-projet des travaux, préparés par l'administration forestière avec le concours d'un ingénieur des ponts et chaussées ou des mines, restent déposés à la mairie pendant l'enquête, dont la durée est fixée à un mois. Ce délai court à partir de la publication de l'arrêté préfectoral qui prescrit l'ouverture de l'enquête et la convocation du conseil municipal.

Art. 6. Le décret impérial est publié et affiché dans les communes intéressées.

Le préfet fait, en outre, notifier aux communes, aux établissements publics et aux particuliers un extrait du décret impérial contenant les indications relatives aux terrains qui leur appartiennent.

L'acte de notification fait connaître le délai dans lequel les travaux de reboisement doivent être exécutés, et, s'il y a lieu, les offres de subvention de l'administration ou les avances qu'elle est disposée à consentir.

Art. 7. Si les terrains compris dans le périmètre déterminé par le décret impérial appartiennent à des particuliers, ceux-ci doivent déclarer s'ils entendent effectuer eux-mêmes le reboisement, et, dans ce cas, ils sont tenus d'exécuter les travaux dans les délais fixés par le décret.

En cas de refus ou d'inexécution de l'engagement pris, il peut être procédé à l'expropriation pour cause d'utilité publique, en remplissant les formalités prescrites par les titres II et suivants de la loi du 3 mai 1841.

Le propriétaire exproprié en exécution du présent article a le droit d'obtenir sa réintégration dans sa propriété après le reboisement, à la charge de restituer l'indemnité d'expropriation et le prix des travaux, en principal et intérêts.

Il peut s'exonérer du remboursement du prix des travaux en abandonnant la moitié de sa propriété.

Si le propriétaire veut obtenir sa réintégration, il doit en faire la déclaration à la sous-préfecture, dans les cinq années qui suivront la notification à lui faite de l'achèvement des travaux de reboisement, à peine de déchéance.

Art. 8. Si les communes ou établissements publics refusent d'exécuter les travaux sur les terrains qui leur appartiennent, ou s'ils sont dans l'impossibilité de les exécuter en tout ou en partie, l'État peut, soit acquérir à l'amiable la partie des terrains qu'ils ne voudront pas ou ne pourront pas reboiser, soit prendre tous les travaux à sa charge. Dans ce dernier cas, il conserve l'administration et la jouissance des terrains reboisés jusqu'au remboursement de ses avances en principal et intérêts. Néanmoins, la commune jouira du droit de pâturage sur les terrains reboisés, dès que ces bois auront été reconnus défensables.

Art. 9. Les communes et établissements publics peuvent, dans tous les cas, s'exonérer de toute répétition de l'État, en abandonnant la propriété de la moitié des terrains reboisés.

Cet abandon doit être fait, à peine de déchéance, dans un délai de dix ans, à partir de la notification de l'achèvement des travaux.

Art. 10. Les ensemencements ou plantations ne peuvent être faits annuellement, dans chaque commune, que sur le vingtième au plus en superficie de ses terrains, à moins qu'une délibération du conseil municipal n'autorise les travaux sur une étendue plus considérable.

Art. 11. Des gardes forestiers de l'État peuvent être préposés à la surveillance des semis et plantations dans les périmètres fixés

par les décrets impériaux. Les délits constatés par ces gardes, dans l'étendue de ces périmètres, sont poursuivis comme les délits commis dans les bois soumis au régime forestier. L'exécution des jugements est poursuivie conformément aux articles 209, 211, 212 et aux paragraphes 1 et 2 de l'article 210 du Code forestier.

Art. 12. Le paragraphe 1er de l'article 224 du Code forestier n'est pas applicable aux reboisements effectués avec subvention ou prime accordée par l'État en exécution de la présente loi.

Les propriétaires de terrains reboisés avec prime ou subvention de l'État ne peuvent y faire paître leurs bestiaux sans une autorisation spéciale de l'administration des forêts, jusqu'à l'époque où les bois auront été reconnus défensables par ladite administration.

Art. 13. Un règlement d'administration publique déterminera,

1° Les mesures à prendre pour la fixation du périmètre indiqué dans l'article 5 de la présente loi ;

2° Les règles à observer pour l'exécution et la conservation des travaux de reboisement ;

3° Le mode de constatation des avances faites par l'État, les mesures propres à en assurer le remboursement, en principal et intérêts, et les règles à suivre pour l'abandon des terrains que l'article 9 autorise les communes à faire à l'État.

Art. 14. Une somme de dix millions (10.000.000 fr.) est affectée au payement des dépenses autorisées par la présente loi, jusqu'à concurrence d'un million (1.000.000 fr.) par année.

Le ministre des finances est autorisé à aliéner, avec faculté de défrichement, s'il y a lieu, des bois de l'État, jusqu'à concurrence de cinq millions de francs (5.000.000 fr.).

Ces bois ne pourront être pris que parmi ceux portés au tableau B annexé à la présente loi. Les aliénations auront lieu successi

ment, dans un délai qui ne pourra excéder dix années, à partir du 1er janvier 1861.

Le ministre des finances est également autorisé à vendre à des communes, sur estimation contradictoire et aux conditions déterminées par un règlement d'administration publique, les bois ci-dessus mentionnés.

Il sera pourvu aux cinq millions de francs (5.000.000 fr.) nécessaires pour compléter les dépenses autorisées par la présente loi, au moyen de coupes extraordinaires et, au besoin, des ressources ordinaires du budget.

NOTE E.

Loi du 8 juin 1864 sur le gazonnement des montagnes.

Char. VII, p. 184.

Art. 1er. Les terrains situés en montagne et dont la consolidation est, aux termes de la loi du 28 juillet 1860, reconnue nécessaire par suite de l'état du sol et des dangers qui en résultent pour les terrains inférieurs, peuvent être, suivant les besoins de l'intérêt public :

Ou gazonnés sur toute leur étendue,

Ou en partie gazonnés et en partie reboisés,

Ou reboisés en totalité.

Art. 2. Sont applicables aux travaux de gazonnement, en ce qu'ils n'ont pas de contraire à la présente loi, les articles 1 à 8

et l'article 11 de la loi du 28 juillet 1860 sur le reboisement des montagnes.

Toutefois, à l'égard des terrains compris dans des périmètres de reboisement obligatoires antérieurement à la promulgation de la présente loi, l'administration des forêts est autorisée, après avis conforme du conseil municipal des communes intéressées, à substituer des travaux de gazonnement aux travaux de reboisement, dans la mesure qu'elle jugera convenable.

Les communes, les établissements publics et les particuliers peuvent provoquer cette substitution. En cas de refus de la part de l'administration des forêts, il sera statué par le préfet, en conseil de préfecture, après l'accomplissement des formalités ordonnées par les nos 3 et 4 du deuxième paragraphe de l'article 5 de la loi du 28 juillet 1860.

La décision du préfet peut être déférée au ministre des finances, qui statuera après avoir pris l'avis de la section des finances du Conseil d'État.

Art. 3. — Les communes et les établissements publics peuvent, dans tous les cas, s'exonérer de toute répétition de l'État, en abandonnant la jouissance de moitié au plus des terrains gazonnés, pendant tout le temps nécessaire pour couvrir l'État, en principal et en intérêts, des avances qu'il aura faites pour travaux utiles, ou, à leur choix, par l'abandon de la propriété d'une partie de ces terrains, laquelle ne pourra jamais en excéder le quart ; le tout à dire d'expert.

Art. 4. Les travaux et mises en défends ne peuvent avoir lieu simultanément, dans chaque commune, que sur le tiers au plus, en superficie, des terrains à gazonner qui lui appartiennent, à moins qu'une délibération du conseil municipal n'autorise les travaux sur une étendue plus considérable.

Art. 5. Le propriétaire exproprié, en exécution de la présente loi, a le droit d'obtenir sa réintégration dans sa propriété après le gazonnement, à la charge de restituer l'indemnité d'expro-

priation et le prix des travaux en principal et intérêts. Il peut s'exonérer du remboursement du prix des travaux en abandonnant le quart de sa propriété.

Art. 6. Un règlement d'administration public déterminera :

1° Les mesures à prendre pour la désignation des terrains indiqués dans l'article 1er de la présente loi;

2° Les règles à observer pour l'exécution et la conservation des travaux de gazonnement;

3° Le mode de constatation des avances faites par l'État, les mesures propres à en assurer le remboursement, en principal et intérêts, et les règles à suivre pour la cession ou l'abandon de jouissance ou de propriété de terrains, qui pourront être faits à l'État;

4° Le mode de fixation et d'allocation des indemnités qui, suivant les circonstances, pourront être allouées aux communes en cas de privation temporaire du pâturage sur les terrains communaux qui seront l'objet de travaux de reboisement ou de gazonnement.

Art. 7. Une somme de cinq millions (5.000.000 fr.) est affectée au payement des dépenses autorisées par la présente loi, jusqu'à concurrence de cinq cent mille francs (500.000 fr.) par année.

Il y sera pouvu au moyen de coupes extraordinaires dans les bois de l'État et, au besoin, à l'aide des ressources ordinaires du budget.

NOTE F.

Loi du 28 juillet 1860 sur la mise en valeur des communaux.

Chap. VII, p 185.

Art. 1er. Seront desséchés, assainis, rendus propres à la culture ou plantés en bois, les marais et les terres incultes appartenant aux communes ou sections de communes, dont la mise en valeur aura été reconnue utile.

Art. 2. Lorsque le préfet estime qu'il y a lieu d'appliquer aux marais ou terres incultes d'une commune les dispositions de l'article 1er, il invite le conseil municipal à délibérer,

1° Sur la partie des biens à laisser à l'état de jouissance commune ;

2° Sur le mode de mise en valeur du surplus ;

3° Sur la question de savoir si la commune entend pourvoir par elle-même à cette mise en valeur.

S'il s'agit de biens appartenant à une section de commune, une commission syndicale nommée conformément à l'article 3 de la loi du 18 juillet 1837 est préalablement consultée.

Art. 3. En cas de refus ou d'abstention par le conseil municipal, comme en cas d'inexécution de la délibération par lui prise, un décret impérial rendu en Conseil d'État, après avis du conseil général, déclare l'utilité des travaux et en règle le mode d'exécution. Ce décret est précédé d'une enquête et d'une délibération du conseil municipal prise avec l'adjonction des plus imposés.

Art. 4. Les travaux sont exécutés aux frais de la commune ou des sections propriétaires.

Si les sommes nécessaires à ces dépenses ne sont pas fournies par les communes, elles sont avancées par l'État, qui se rembourse de ses avances, en principal et intérêts, au moyen de la vente publique d'une partie des terrains améliorés, opérée par lots, s'il y a lieu.

Art. 5. Les communes peuvent s'exonérer de toute répétition de la part de l'État, en faisant l'abandon de la moitié des terrains mis en valeur.

Cet abandon est fait, sous peine de déchéance, dans l'année qui suit l'achèvement des travaux.

Dans le cas d'abandon, l'État vend les terrains à lui délaissés, dans la forme déterminée par l'article précédent.

Art. 6. Le découvert provenant des avances faites par l'État pour l'exécution des travaux prescrits par la présente loi ne pourra dépasser en principal la somme de dix millions (10.000.000 fr.).

Art. 7. Dans les cas prévus par l'article 3 ci-dessus, le décret peut ordonner que les marais ou autres terrains communaux soient affermés.

Cette location sera faite aux enchères, à la charge par l'adjudicataire d'opérer la mise en valeur des marais ou terrains affermés,

La durée du bail ne peut excéder vingt-sept ans.

Art. 8. La loi du 10 juin 1854, relative au libre écoulement des eaux provenant du drainage, est applicable aux travaux qui seront exécutés en vertu de la présente loi.

Art. 9. Un règlement d'administration publique déterminera,

1° Les règles à observer pour l'exécution et la conservation des travaux ;

2° Le mode de constation des avances faites par l'État, les mesures propres à en assurer le remboursement, en principal et intérêts, et les règles à suivre pour l'abandon des terrains que le premier paragraphe de l'article 5 autorise la commune à faire à l'État ;

3° Les formalités préalables à la mise en vente des portions de terrain aliénées en vertu des articles qui précèdent ;

4° Toutes les autres dispositions nécessaires à l'exécution de la présente loi.

FIN DES NOTES.

Paris. — Imprimerie CUSSET et Cie, 26, rue Racine.

TABLE DES MATIÈRES

DU SECOND VOLUME.

Pages.

PRÉFACE. . . . . I à XVI

CHAPITRE I. Coup d'œil sur l'histoire du déboisement. . 1

II. Le déboisement de la France a-t-il modifié la température moyenne de l'année? . . 14

III. Les forêts et la pluie. 44

IV. Les forêts et les cours d'eau. *Évaporation. — Infiltration.* . . 86

V. Id. *Ruissellement.* 120

VI. Id. *Résultante de l'action hydrologique des forêts.* 150

VII. Boisement et gazonnement des montagnes. (*Lois du* 28 *juillet* 1860 *et du* 8 *juin* 1864.) 182

VIII. Extinction artificielle des torrents. 214

IX. Exploitation des montagnes. 244

X. Ouvrages d'art contre les torrents. 252

XI. L'Ère torrentielle et la Période glaciaire. . . 294

APPENDICE. 349

NOTES.

A. Régime pluvial des alpes françaises (chap. III, p. 57) 361

B. La théorie de la pluie a sans doute de grands progrès à faire (chap. III, p. 63). 465

C. L'effet de la pluie sur les cours d'eau dépend de sa distribution relative entre les saisons plus que de sa hauteur totale annuelle (chap. VI, p. 167). 371

D. Loi du 28 juillet 1860 sur le reboisement des montagnes (chap. VII, p. 184). 373

E. Loi du 8 juin 1864 sur le gazonnement des montagnes (chap. VII, p. 184). 377

F. Loi du 28 juillet 1860 sur la mise en valeur des communaux (chap. VII, p. 185). 380

INDEX ALPHABÉTIQUE des principaux auteurs ou recueils mentionnés dans ce volume (*voir la page ci-après*). .

INDEX ALPHABÉTIQUE

DES PRINCIPAUX AUTEURS OU RECUEILS MENTIONNÉS

DANS CE VOLUME.

Pages.

ANNALES DES MINES. 254
ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES. 57, 60, 64, 85, 93, 105, 108, 123, 125, 126, 135, 137, 143, 145, 157, 160, 167, 254, 293, 343
ANNALES FORESTIÈRES. 1, 5, 9, 12, 45, 147, 233, 235
ANNUAIRE DES EAUX ET FORÊTS. 12
ASSOCIATION SCIENTIFIQUE DE FRANCE (BULLETINS). 83
CORRESPONDANT. . . . . III, 1, 6, 41, 176
MÉMOIRES DE L'INSTITUT. 1, 5, 25, 26, 34, 35, 38
PATRIA. 21, 163, 169, 170
REVUE CONTEMPORAINE. 37
REVUE DES DEUX-MONDES. . . . . IX, 47, 299, 303, 308, 312, 332
REVUE DES EAUX ET FORÊTS. 95, 100, 111, 112, 116, 134, 143

Pages.

ABBADIE (Antoine d'). 294
ABBOT. 175
ABRIA. 76
ADHÉMAR. 31, 32
AGASSIZ 32, 151, 283, 311
ARAGO. . 16 à 24, 28, 34, 41, 57, 74, 166, 169, 178
ARISTOTE. 44

BABINET. 22, 30
BAINES (Thomas) 101
BARRAL. 19
BAUMGARTEN. 160, 168, 172, 175
BEAUMONT (Élie de). XVI, 30, 342
BEAUVOIR (le comte de) . . . 119
BECKER. 173
BECQUEREL. 1, 25, 26, 34, 35, 38, 66
BELGRAND. . 60, 64, 70, 105, 108, 110, 125 à 127, 135, 146, 160, 164, 167, 293, 371
BELLAUD 143
BERTRAND (Joseph). 28
BEUGNOT 12
BOUSSINGAULT. 25, 37, 145
BOUVARD (Alexandre) 72
BOUVIER. 105
BRAVAIS 30, 170, 304

INDEX ALPHABÉTIQUE.

Pages.

Brémontier. 176, 185
Breton (Philippe). 263, 266, 267, 277, 305, 345
Brown 173
Buckland. 311
Buffon III

Cambuzat. 172
Cantegril 143
Cassini 17
Cavalieri. 173
César (Jules) 2, 15
Champcourtois (de) 22, 30
Charles Edmond. 22
Chevandier. 37
Chilo (l'Abbé) 77
Clavé (J) 1, 41
Colbert . . . . . III, 7, 9
Collomb 303, 321, 325
Comoy 160
Conte Grandchamp . . . 111, 112
Copernic. 42
Costa de Bastelica. 193, 198, 232, 239
Cotte (le père). 73
Coulaine (de) 159
Culmann, 146, 182, 261, 262, 268, 270, 277, 382

Darwin. 311
Dausse . . 91, 161, 173, 365, 371
Delesse 58
Deluc. 46
Descartes 45
Descombes 90
Diodore 15
Dubois de Jubainville. 127, 134
Dufferin (Lord) 22
Dufrénoy. 342
Duponchel. . 117, 171, 175, 176
Dupuit 178

Ellet. 173
Escher. 273, 288
Éveillé (l') 54, 59

Pages.

Fabre 145
Faré 200, 204, 215
Favier 173
Figuier. 295
Flaugergues. 80
Florus. 15
Forbes 299
Forcade de la Roquette. . 200
Forster 147
Fuster (docteur). . . . 1, 11, 15
Fraisse. 253

Galilée. 27
Gasparin (de). 35
Gay-Lussac 17, 42
Gentil 207
Graeff. 111
Grandjean de Fouchy . . . 72
Gras (Scipion) 224, 254, 273, 281 305, 333
Guigues (Émile). 216, 217
Guiny (de). 244, 247
Guyot 76

Hayes. 23, 89
Heyer 37
Hudry-Ménos. IX
Humboldt (de) 27, 32, 145
Humphreyt. 175

Jamin. 47
Jamieson 311
Jardin 22
Jeandel 143
Jeaurat 72
Joanne. 283
Joinville (Sire de). 6
Jourdan. 233, 235
Julien (Empereur). 16

Kaemtz. . . . 46, 49, 51, 68, 369
Keferstein. 46
Kirwan (de).. . . . III, 4, 6, 176

Labussière. 234

INDEX ALPHABÉTIQUE.

Pages.

LACROIX. 173
LADOUCETTE (de). . . . . IX, 222
LAMIRE (de). 71, 72
LAMAIRESSE. 57
LAMOTHE (de la). 76
LATERRADE. 77
LAUDERDICK (Thomas) 311
LAVENAY (Victor de). 189
LAVERGNE (de). . . . . XI, XII
LAVOISIER. 17
LEGRAND 9
LEMOINE 167. 293, 371
LESGUILLIER 160, 173
LEVALLOIS 138
LEVERRIER 72
LIEBIG 37
LIVINGSTONE (David et Charles) 84
LOMBARDINI. 173, 175
LUCAIN 94
LYELL (Charles). 312

MAC-CULLOCH. 311
MAGNE 185
MANGON (Hervé) 175, 176
MARALDI 72
MARCHEGAYE 157
MARDIGNY (de) 85, 157, 159, 161, 172
MARÉCHAL 262
MARIÉ-DAVY. 82
MARTINS (Charles). 21, 23, 28, 30, 35, 36, 39, 41, 105, 299, 303, 304, 308, 312, 321, 332, 335, 343
MATHIEU. 68, 69. 97, 99
MAURY (Alfred) 1, 15
MONTALEMBERT (de). 5
MONTRAVEL (Tardy de). . . . 158
MONTRAVEL (amiral Tardy de) 173

NAPOLÉON III. . . . . V, 121, 162
NOLLET (l'Abbé) 46

PALISSY (Bernard). . . . . II, 4

Pages.

PARAMELLE (l'Abbé) 46
PARTIOT 343
PERTHUIS. 11
PETIT-LAFITTE 76
PICOT. 266
PLANTAMOUR 304
PLATON. 2
POINT-CARRÉ 266

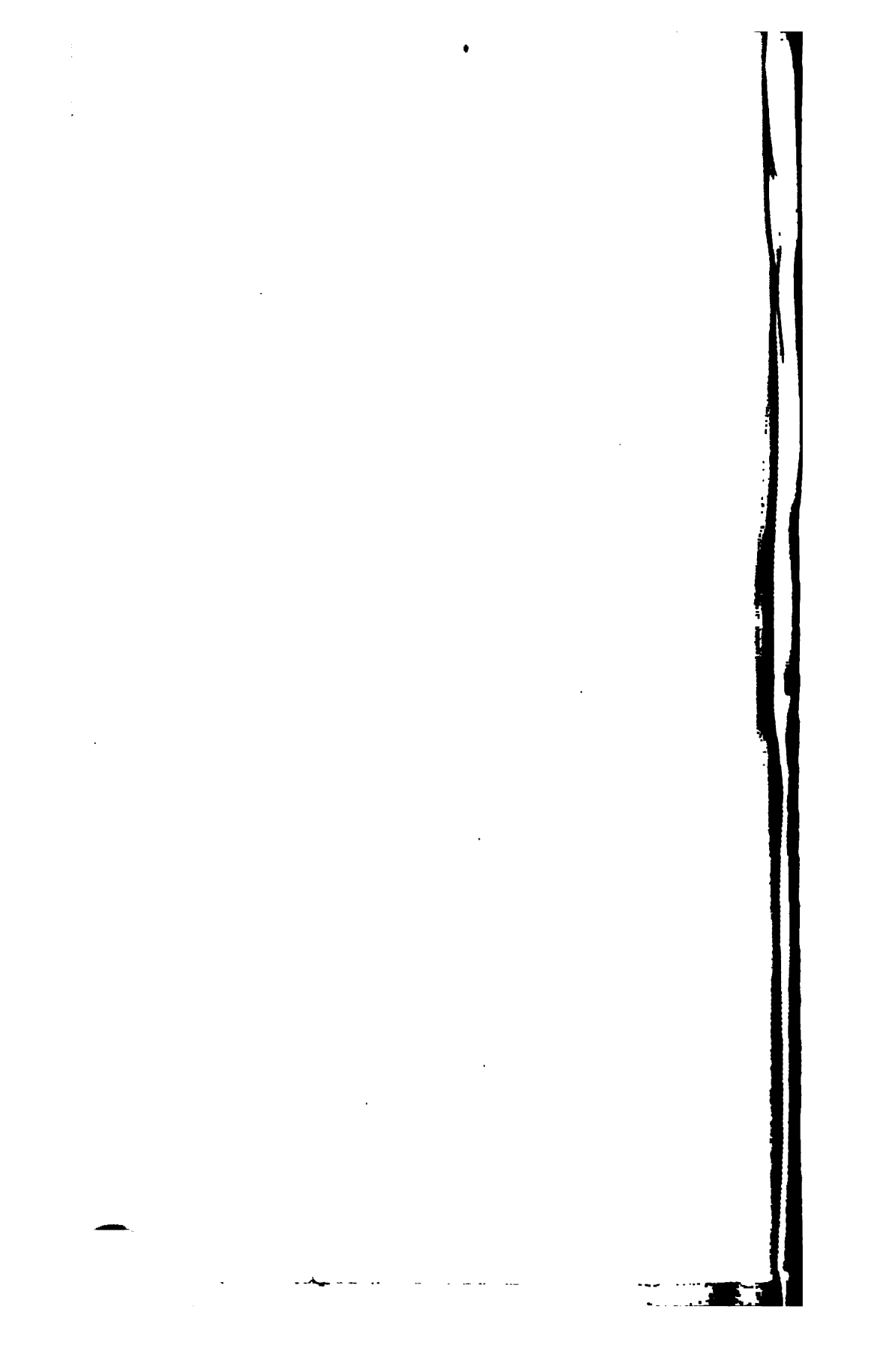
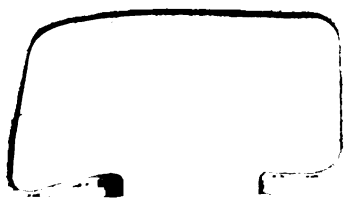
RAINERI. 28
RAULIN. 58, 71, 73, 77, 166 169, 361
RÉAUMUR. . . . . III, 5
REICH. 372
RENOU. 57, 65
ROZANS (docteur). 249

SAINTCLAIR (de). 125
SALOMON 44
SARRAUT (père et fils) 76
SAUSSURE (de) 223
SCHMIDT. 41, 44, 46, 89
SCHLAGINTWEIT (les frères). . 294
SÉGUINARD. . 191, 196, 197, 200, 208, 212, 213
SERRES (Olivier de) 235
SIMOND. 284
STRABON 15
SULLY. . . . . II, 7
SURELL, *passim.*

TALLON. 353, 356
THOMASSY. 175
TISSERAND (Eugène). . . . 29, 37
TURGOT III
TYNDALL 299

VAILLANT (Maréchal). 95, 97, 102, 113, 143, 144
VALLÈS. 29, 35, 38, 89, 113, à 116, 127, 141, 143 à 146, 149
VAUTIER 173
VENANCE-PAYOT. 304
VENETZ (de) 33, 285, 289
VICAIRE. 188, 200, 232

Castelsagrat
Valence
Auvillar
St Nicolas de la Grave
Lavit de Lomagne
Beaumont de Lomagne



3 2044 102 886 694